



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut
Maaehituse ja veemajanduse õppetool

Rauf Mirsalajev

**EESTI VABARIIGI (1918-1940) AJAL EHITATUD
PUITKARKASSELAMUTE SEISUKORD NING
RENOVEERIMISVÕIMALUSED**

**TECHNICAL SITUATION OF TIMBER FRAME DWELLINGS
BUILT DURING THE FIRST REPUBLIC OF ESTONIA
(1918-1940) AND POSSIBILITIES FOR RENOVATING**

Magistritöö
Maaehituse õppekava

Juhendajad: nooremteadur Martti-Jaan Miljan, MSc
spetsialist Matis Miljan, BSc

Tartu 2019



Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Rauf Mirsalajev		Õppekava: Maaehitus	
Pealkiri: Eesti Vabariigi (1918-1940) ajal ehitatud puitkarkassellamute seisukord ning renoveerimisvõimalused			
Lehekülgi: 80	Jooniseid: 62	Tabeleid: 12	Lisasid: 3
Osakond: ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Juhendaja(d): Kaitsmiskoht ja aasta:		Maaehituse ja veemajanduse õppetool Tsiviilehitus, T220 Nooremteadur Martti-Jaan Miljan MSc, spetsialist Matis Miljan BSc Tartu, 2019	
<p>Tänapäeval on väga oluline, et ei kulutataks liigset energiat, et tagada eluruumides mugav ja tervislik sisekliima. Sellest tulenevalt esitatakse uutele ja renoveeritavatele hoonetele aina rangemaid energiatõhususe nõudeid.</p> <p>Antud lõputöö eesmärk oli uurida Eesti Vabariigi perioodil 1918-1940 ehitatud puitkarkasshoonete ehitustehnilist ja –füüsikalist seisukorda ning vastavalt sellele anda hoonetele renoveerimisvõimalusi, et tagada parem energiatõhusus.</p> <p>Lõputöö käigus uuriti nelja elamut, kus viidi läbi ehitustehnilised ja ehitusfüüsikalised mõõtmised. Tehnilise seisukorra määramine viidi läbi visuaalsel teel, kus kaardistati hoonete kahjustused ning vastavalt konstruktiivelementide maksumuse osatähtsusele kogu hoonest, anti protsentuaalne füüsiline kulum kogu hoonele. Lisaks sellele viidi läbi hooneelanike seas ankeetküsitlus, millega tehti kindlaks elanike harjumused ja rahulolu. Korterites mõõdeti sisekliimat vähemalt kahe kuu pikkusel perioodil. Paralleelselt viidi läbi hoonesisene termografeerimine ning õhupidavus mõõtmine BlowerDoor seadmega.</p> <p>Hoonete tehniline seisukord oli varieeruv, kus osades hoonetes olid märgatavalt suuremad füüsikalised kulumised (nt esimese korruse põrandal majavamm, soklil mõrad, madal soklipiir, kahjustused katusekattes jne). Korterite keskmine õhutemperatuur mõõteperioodil oli 21,6°C, keskmine õhuniiskus 32,8% ning keskmine niiskuskooormus 2,64 g/m³. Kõikides korterites tuvastati külmasildasid, milleks olid põranda ja välisseina liited, välisseinte välisnurgad, vahelae ja välisseina liited, läbistused välispiiretes (laevalgustid, pistikud, kaablid) ja avatäited. Külmasildadel esines mõõdukas hallituse ja kondenseerumise oht. Keskmine välispiirete õhulekkearv alarõhu tingimustes (50Pa juures) oli 11,95 m³/(h·m²). Hoonete välisseinte keskmine arvutuslik soojusläbivus on 0,57 W/(m²·K) ning esineb mõõdukas oht veeauru kondenseerumiseks (võttes arvesse kehtivaid norme ja standardeid). Hoonete välisseinte soojusläbivuse parandamiseks piisab 150mm paksusest soojustuskihist, millega saab keskmise arvutusliku soojusläbivuse väärtuse 0,175 W/(m²·K).</p> <p>Käesoleva lõputöö tulemusena saab võrrelda erinevatel ajastutel ehitatud puitkarkassellamute ehitustehnilist ja ehitusfüüsikalist seisukorda ning seejuures ideid renoveerimisvõimalusteks. Samuti saab võrrelda töö tulemusi teiste läbiviidud uurimustöödega, kus on uuritud puit- ja kivimaju.</p>			
Märksõnad: ehitustehniline seisukord, ehitusfüüsika, sisekliima, termograafia, õhulekkearv, soojusläbivus.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Rauf Mirsalajev		Curriculum: Civil Engineering	
Title: Technical situation of timber frame dwellings built during the First Republic of Estonia (1918-1940) and possibilities for renovating			
Pages: 80	Figures: 62	Tables: 12	Appendixes: 3
Department:		Chair of Rural Building and Water Management	
Field of research and (CERC S) code:		Civil engineering, T220	
Supervisors:		Junior Researcher Martti-Jaan Miljan MSc, Specialist Matis Miljan BSc	
Place and date:		Tartu, 2019	
<p>Nowadays it is very important not to spend too much energy for ensuring a comfortable and healthy indoor climate in the dwellings. As a result, new and renovated buildings are subject to increasingly strict energy efficiency requirements.</p> <p>The aim of this thesis was to study technical conditions and building physics of timber frame buildings built during the First Republic of Estonia in 1918-1940 and to give the buildings possibilities for renovating to ensure better energy efficiency.</p> <p>In the course of this thesis, four residential buildings were studied. The determination of the technical condition was carried out by visual inspection of the damages to the buildings and, according to the proportion of the cost of the building elements, the physical depreciation was given for the buildings as a whole. In addition, a questionnaire was carried out among the building residents to determine the habits and satisfaction of the residents. The indoor climate in the buildings was measured over a period of at least two months. Indoor thermography and airtightness with BlowerDoor device were measured in parallel.</p> <p>The technical condition of the buildings varied, where some buildings exhibited significantly greater physical wear and tear (e.g. fungal damage on the ground floor, cracks on the foundation, damage to the roof, etc.). The average air temperature of the apartments during the measurement period was 21,6°C, the average air humidity was 32,8% and the average moisture excess was 2,64 g/m³. In all the apartments, thermal bridges were identified, such as floor and outer wall joints, outer wall corners, ceiling and outer wall joints and recessed elements (cables, plugs, ceiling lightfixtures). There was moderate risk of mold and condensation on thermal bridges. The average underpressure air leakage rate at 50 Pa was 11,95 m³/(h·m²).</p> <p>The average calculated thermal transmittance of the exterior walls of buildings is 0,57 W/(m²·K) and there is moderate risk of condensation of water vapor. In order to improve the thermal transmittance of the exterior walls, a 150mm thick insulation layer is sufficient, which gives an average calculated thermal transmittance of 0,175 W/(m²·K).</p> <p>As a result of this thesis, the technical condition and building physics of timber frame buildings built during the different time period can be compared. Furthermore, ideas for renovation can be found. It is also possible to compare the results of this study with the different researches, where log and stone houses have been studied.</p>			
Keywords: technical conditions of buildings, building physics, indoor climate, thermography, air leakage rate, thermal transmittance.			

Sisukord

SISSEJUHATUS	5
1. 1918.–1940. AASTAL EHITATUD PUITKARKASSHOONETE AJALUGU JA UURITAVATE HOONETE ÜLEVAADE.....	8
1.1. Puitkarkasshoonete tüüpkonstruktsioonid	8
1.2. 1918.-1940. aastal Eesti Vabariigis ehitatud puitkarkasshoonete ajalugu.....	16
1.3. Uuritavate hoonete ülevaade.....	20
1.3.1. Hoone 1 kirjeldus	21
1.3.2. Hoone 2 kirjeldus	22
1.3.3. Hoone 3 kirjeldus	23
1.3.4. Hoone 4 kirjeldus	25
2. ELAMUTE EHITUSTEHNILISE SEISUKORRA HINDAMISE JA EHITUSFÜÜSIKALISTE MÕÕTMISTE METOODIKA.....	26
2.1. Ehitustehnilise seisukorra hinnang.....	26
2.2. Hooneelanike küsitlus	27
2.3. Sisekliima parameetrid.....	28
2.4. Termograafia.....	31
2.5. Piirete õhupidavus.....	33
3. HINDAMISTE JA MÕÕTMISTE TULEMUSED	36
3.1 Ehitustehnilise seisukorra hinnang	36
3.2 Hooneelanike küsitlus.....	43
3.3 Sisekliima parameetrid	46
3.4 Termograafia.....	49
3.5 Piirete õhupidavus.....	58
4. HOONETE RENOVEERIMISE VÕIMALUSED	61
4.1. Uuritud hoonete piirdetarindite arvutuslik soojusläbivus	61
4.2. Uuritud hoonete piirdetarindite lisasoojustamine	63
4.3. Soovitused uuritud hoonete seisukorra parandamiseks	66
KOKKUVÕTE	68
KASUTATUD KIRJANDUS	71
LISAD	74
Lisa 1. Hoonete tehnilise seisukorra arvutustabelid	75
Lisa 2. Kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suuruste hinnang.....	79
Lisa 3. Välistemperatuur ja suhteline õhuniiskus	80

SISSEJUHATUS

Tänapäeval kulub suur hulk energiat, et tagada kodudes soe ja mugav elukeskkond ning seejuures läheb suur osa energiast ka raisku nii-öelda välisõhu kütmise peale, siis on oluline, et nii uued kui ka olemasolevad hooned oleksid energiatõhusad. Seetõttu sätestatakse aina rangemaid energiatõhususe miinimumnõudeid, millega vähendatakse liigset energia kulutamist ja kasvuhoonegaaside heitkoguseid ning tagatakse olemasolevatele ja uutele hoonetele parem sisekliima [37].

Lõputöö eesmärk on hinnata Eesti Vabariigi perioodil 1918–1940 ehitatud puitkarkasselamute ehitustehnilist ja -füüsikalist seisukorda ning lähtuvalt sellest anda hoonetele renoveerimisvõimalusi, et tagada parem energiatõhusus. Seisukorra hindamiseks on valitud neli hoonet, millest kaks on kahepereelamud, üks on viie korteriga kortermaja ning üks on kaheksa korteriga kortermaja. Kokku valitakse välja viis korterit, kus viiakse läbi tehnilise ja füüsikalise seisukorra hindamised. Uuritavad hooned on ehitatud ajavahemikul 1928 kuni 1937 ning soojustusmaterjalina on kasutatud urbsset puistematerjali.

Lõputöö tulemusena saab anda ülevaate puitkarkasshoonetest, mis on ehitatud enne 1940. aastat, kuid seejuures tuleb ära märkida, et paralleelselt käesoleva lõputööga, viiakse läbi kaks eraldiseisvat lõputööd, kus ühes töös uuritakse Nõukogude Eesti aegseid ja teises taasiseseisvunud Eesti aegseid puitkarkasselamuid. Igal perioodil ehitatud hoonete uurimisel kasutatakse sarnast metoodikat, et tekiksid võrreldavad tulemused ning seetõttu võib tööde ülesehituses esineda sarnasusi.

Lõputöö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimeses peatükis kirjeldatakse puitkarkasselamute ajalugu ja tüüpkonstruktsioone, mis on eelkõige ehitatud ajavahemikul 1918–1940. Selles peatükis kirjeldatakse enamlevinud hoonete tüüpe, milleks on puit välisvoodriga lenderi- ja tallinna majad ning krohvitud välisfassaadiga funktsionalistlikud hooned, mis enda olemuselt meenutavad kivimaja. Tüüpkonstruktsioonide osas kirjeldatakse valdavalt levinud materjale ning seinte soojapidavust. Samuti antakse ülevaade uurimisse kaasatud hoonete valikust.

Teises peatükis kirjeldatakse lõputöö metoodikat. Uuritavate elamute juures hinnatakse ehitustehnilist ja ehitusfüüsikalist seisukorda. Ehitustehniline seisukorra hinnang viiakse läbi mittepurustavaid meetodeid kasutades, kus konstruktsioonielementidele antakse visuaalne hinnang. Visuaalse hinnangu tulemusena antakse protsentuaalne hinnang, mis kirjeldab hoone füüsilist kulumist. Ehitusfüüsikalise seisukorra hindamiseks viiakse läbi sisekliima mõõtmised, termografeerimine ning korterites teostatud õhupidavus test. Sisekliima mõõtmistega salvestatakse vähemalt kahe kuu jooksul hoonete sisetemperatuur ja suhteline õhuniiskus. Termografeerimist viiakse läbi paralleelselt õhupidavus testiga ning kaardistatakse külmasillad ja õhulekke kohad. Lisaks sellele viiakse läbi elanike ankeetküsitlus, millega määratakse elanike hoiakud ja rahulolu hoonete ehitustehnilise seisukorraga.

Kolmandas peatükis antakse ülevaade hoonetes läbi viidud mõõtmistulemustest. Tulemuste peatükis antakse ülevaade ehitustehnilisest seisukorrast, kus antakse hoonetele füüsiline kulum ning kirjeldatakse visuaalselt tuvastatud kahjustusi ja konstruktsioonielementide kulumist. Kirjeldatakse elanike ankeetküsitluste tulemusi, mis annab ülevaate nende rahulolust ning kütte- ja ventilatsiooniprobleemidest. Termografeerimise alapeatükis kirjeldatakse tuvastatud külmasildasid, soojalekkekohti ning nende kriitilisust. Korterite õhupidavuse mõõtmisega hinnatakse õhulekete suurust, õhuvahetuskordsust ning õhulekkearvu. Lisaks sellele kirjeldatakse sisekliimat, millega analüüsitakse korterite siseõhutemperatuure, õhuniiskust ning niiskuskoormust ja nende vastavust sisekliima klassidega.

Neljandas peatükis käsitletakse hoonete renoveerimisvõimalusi ning soovitusi hoonete ehitustehniliste ja ehitusfüüsikaliste parameetrite parandamiseks. Esmalt arvutatakse olemasolevate välispiirete soojuslähivust ning kontrollitakse niiskustehnilist toimivust. Seejuures tuleb ära märkida, et konstruktsioone ei avata ning seetõttu võib reaalses olukorras olla mõningaid erinevusi arvutuslike konstruktsioonidega. Seejärel antakse soovituslikke lisasoojustamise viise, et tagada uuritud hoonetel parem energiatõhusus. Lisasoojustamise viise saab ka rakendada sarnaste konstruktsioonidega ehitatud hoonete puhul, kuid renoveerimisel tuleks igat hoonet vaadelda eraldiseisvana. Põrandate ja lagede soojuslähivust on keerulisem hinnata, kuna puudub võimalus konstruktsioonide sisse vaadata. Samuti antakse mõningaid soovitusi kuidas parandada välispiirete ja avatäidete ehitistehnilist seisukorda.

Autor tänab lõputöö juhendajaid Martti-Jaan Miljanit ning Matis Miljanit, kes olid toeks lõputöö kirjutamisel nõu ja jõuga. Autori suur tänu läheb ka elamispindade elanikele, kes olid nõus lõputöö uuringus osalema.

1. 1918.–1940. AASTAL E HITATUD

PUITKARKASSHOONETE AJALUGU JA UURITAVATE HOONETE ÜLEVAADE

1.1. Puitkarkasshoonete tüüpkonstruktsioonid

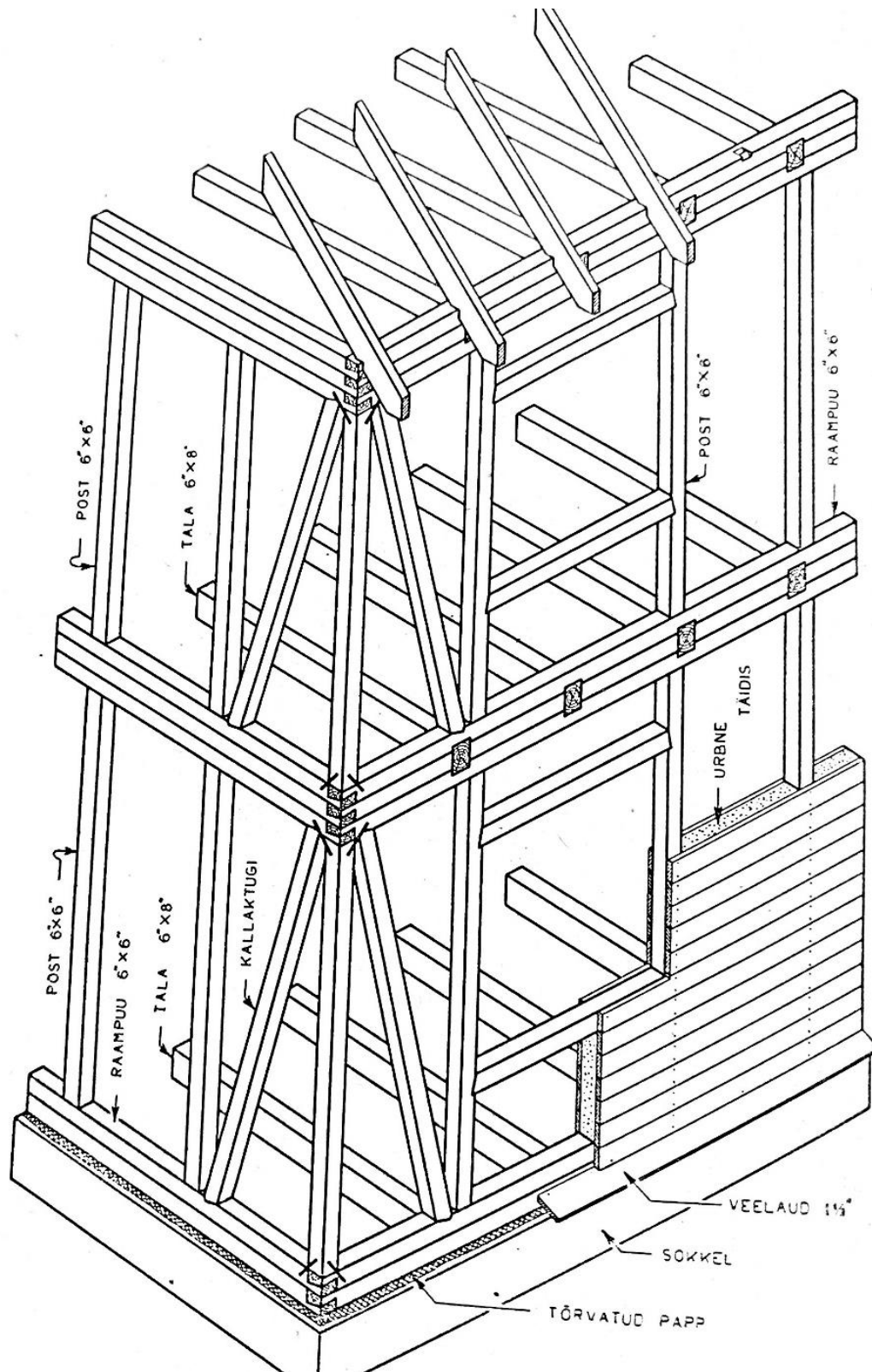
Puitkarkasshoonete ehitamine hakkas maailmas laialdasemalt levima 19. sajandil, mil hakati massiliselt tootma metallnaelu [1], mistõttu sai ehitada karkasshooneid, mis olid kerged ning seejuures ka tugevad. Esimesed seda tüüpi puitkarkasshooned pärinevad Põhja-Ameerikast, Lääne-Euroopast ja Skandinaaviast.

Enam levinud puitkarkasshoonete tüübid olid järgmised:

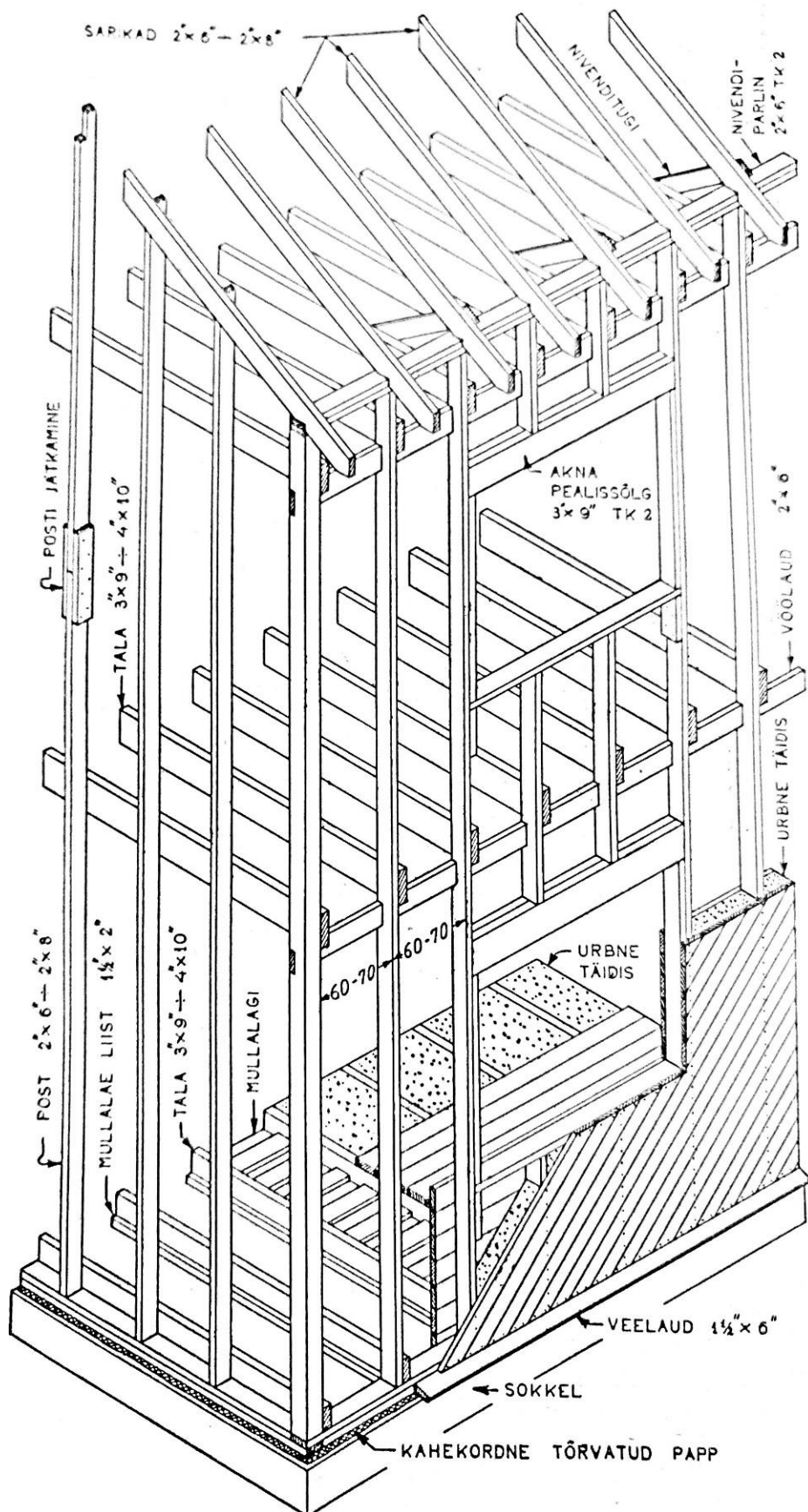
- tavaline sõrestiksein ehk post-tala meetod;
- Ameerika sõrestiksein, teisisõnu *Balloon* ehk jätkuvpostiga sõrestiksein;
- platvorm sõrestiksein. [29]

Platvorm sõrestikkonstruktsioon, mille levik maailmas sai alguse 19. sajandil [1], ehitati esmalt esimese korruse põrandad valmis. Seejärel ehitati esimese korruse seinad ning teise korruse põrandad. Sellele järgnevalt ehitati teise korruse seinad ja katusekonstruktsioon. Platvorm ehitustüübi eeliseks oli ehitusviisi mugavus, kuna alati oli olemas kindel ja stabiilne põrand. [29]

Tavaline pruss-sõrestikseina tarind, mida on näha joonisel 1, hakati Põhja-Ameerikas laialdasemalt ehitama 19. sajandil [1]. See lahendusviis ei olnud kõige parem, sest selle lahenduse puhul takistasid jäikustoed ning raampuud ühtlase täitematerjali paigaldamise ja vajumise karkassi vahele. Parema lahenduse oli Ameerika sõrestikseina tarind (joonis 2), mis levis mujal maailmas 19. sajandil [1], kuid seejuures Eestis hakkas levima 1930-ndate lõpus. Selle lahendusviisi järgi oli tunduvalt soodsam, lihtsam ja kiirem ehitada. Peale selle, et täitematerjali oli lihtsam paigaldada, sai seinte jäigastamiseks kasutada tõhusat diagonaalvoodrit. [4]

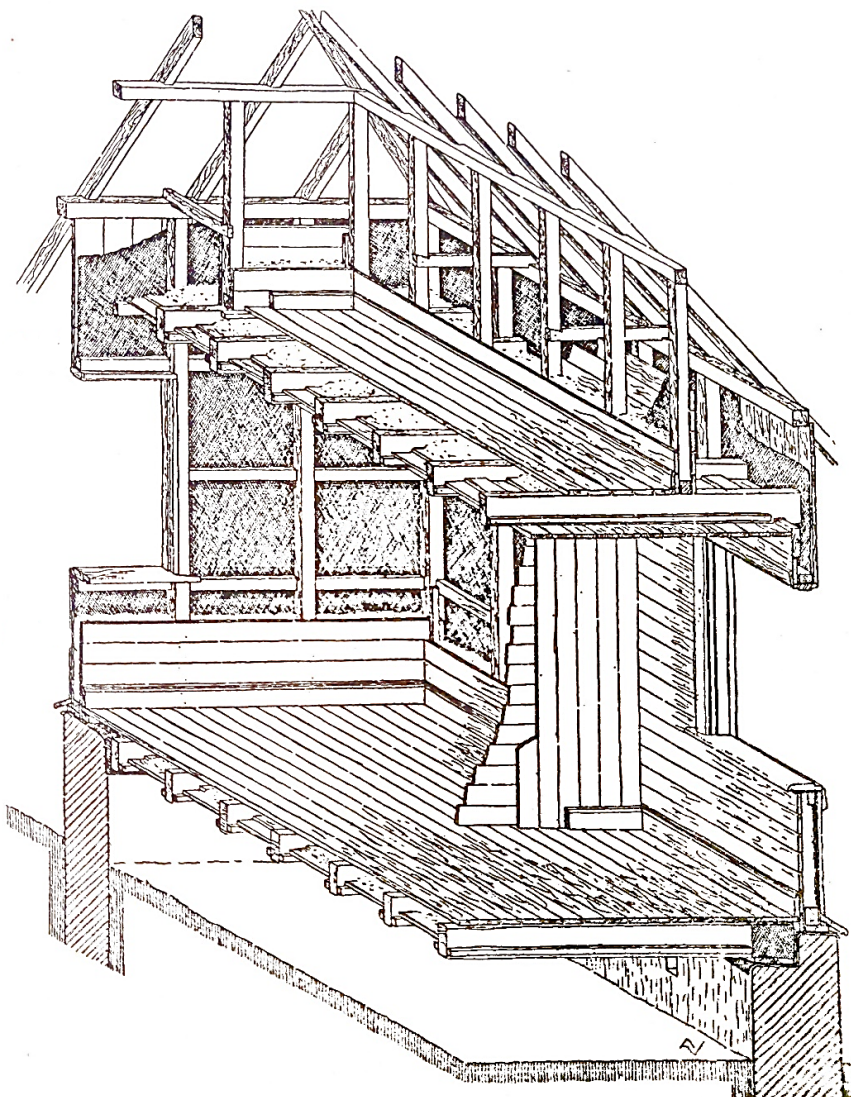


Joonis 1. Tavaline sõrestikkonstruktsiooni lahendus (mõõdud antud tollides) [4].

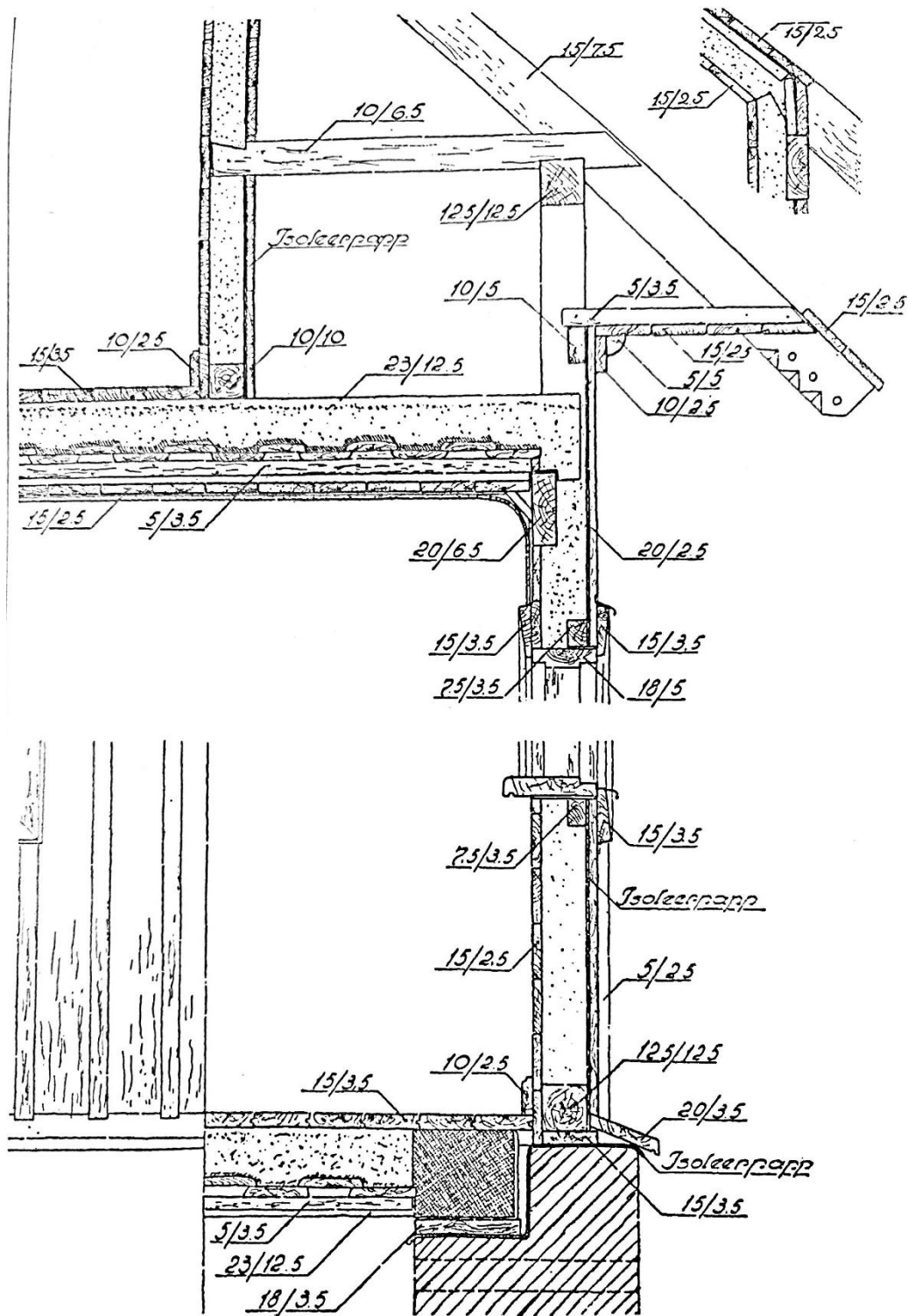


Joonis 2. Ameerika sõrestik tarindus (möödud antud tollides) [4].

Eestis levival sõrestikseina ehitamisel kasutati hoone nurkades peamiselt kandilisi poste mõõdus 125x125 mm ning hoone keskosas võis kasutada väiksema läbimõõduga prusse mõõtudega 75x125 mm, kuna need tagasid piisava kandevõime ning sellega hoiti kokku ka kulutusi. Vaheseinte ehitamisel võis kasutada veel väiksema läbimõõduga prusse. Pööningul oli oluline, et postid ulatuksid tervelt sarikateni, sest siis oli hiljem võimalus lisada seintesse täitematerjali, kui esmased täitematerjali vajumised olid ära olnud. Seintes paremaks ja ühtlasemaks täitematerjali vajumiseks kasutati postidest õhemaids horisontaalseid roove. Joonisel 3 on näha hoone osa (sh sõrestik tarind) aksonomeetrilist detailjoonist ning joonisel 4 on näha hoone lõike detailjoonist. [3]



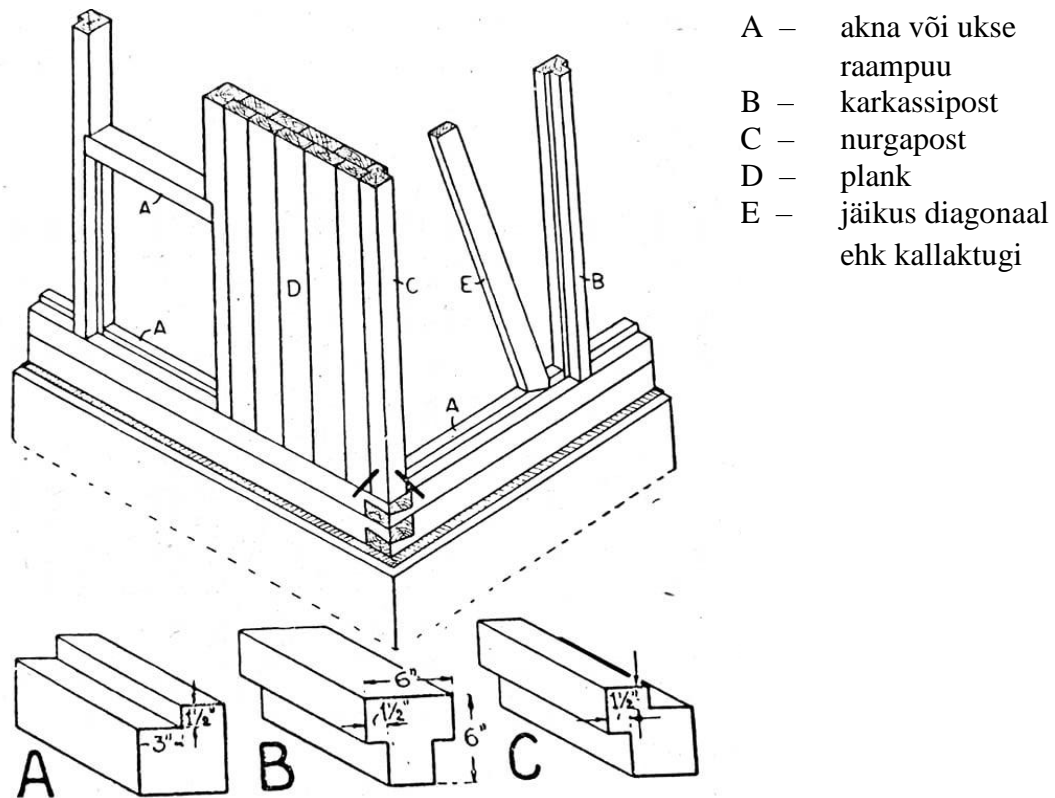
Joonis 3. Hoone osa (sh sõrestik tarind) aksonomeetriline detailjoonis [3].



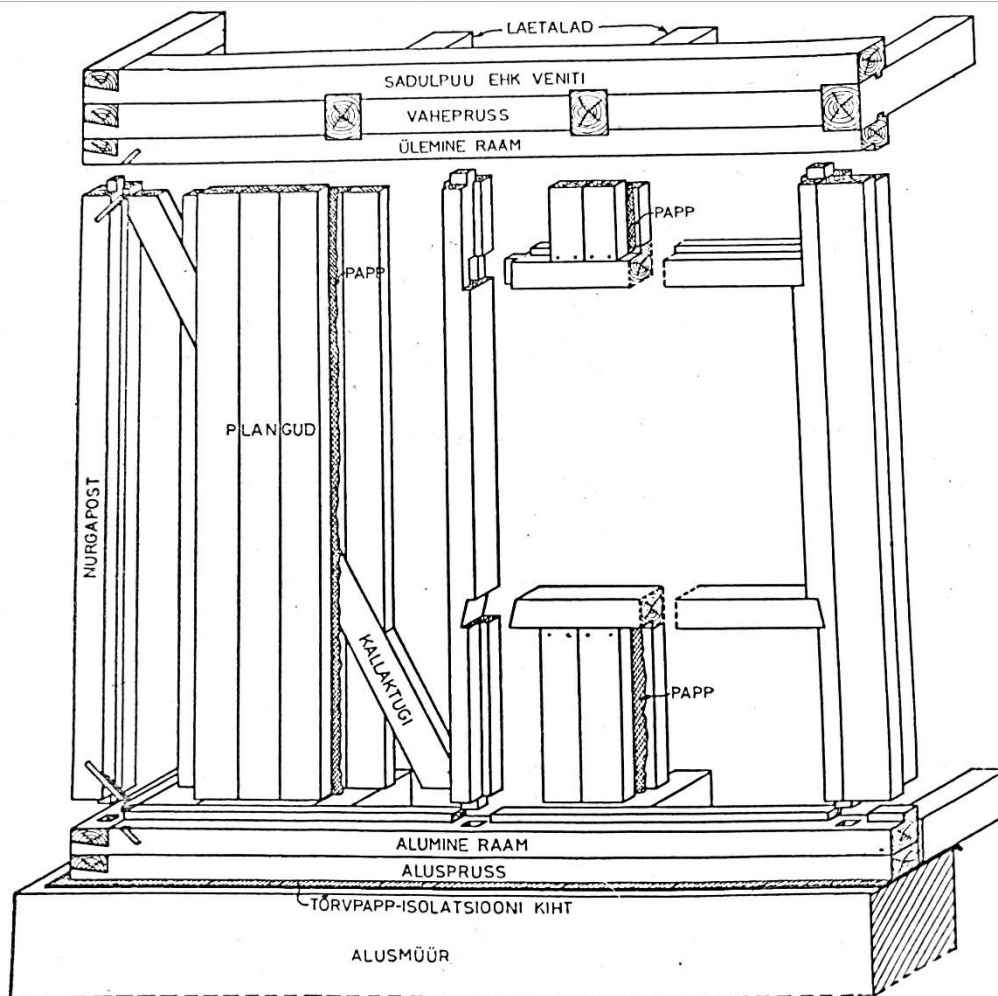
Joonis 4. Sõrestik tarinduse lõige (mõõdud antud sentimeetrites) [3].

Lisaks tavalisele ja Ameerika sõrestikseinale, levis 1930-ndatel topelt püstplankseina sõrestikkonstruktsioon (joonis 5 ja 6). Topeltplankseinu ehitati peamiselt 150x150 mm prussidega, millesse oli raiutud 40 mm ja 75 mm laiused poolsooned, mille abil sai tiheda ja soojapidavama seinaplankude ja sõrestikuvahelise liite. Konstruktsiooni ehitamist alustati

välimisest plangukihist, kus enne plangu paigaldamist takutati servad. Peale välimise plangukihi paigaldamist, paigaldati siseküljele papikiht. Sisemine plangukiht paigaldati nii, et see kataks täielikult välimise plangukihi vuugi – sellega tagati parem hoone õhupidavus ning tõsteti konstruktsiooni tugevust. Topeltplankseina võis vooderdada ehitamise ajal juhul, kui ehituspuit oli kuiv. Toore ja kõrge niiskusesisaldusega puidu korral pidi ootama vähemalt aasta või kaks enne vooderdamist, kuna see jättis võimaluse konstruktsiooni tekkinud vahede takutamiseks. Viimistlusmaterjalina võis kasutada väljas voodrilauda või krohvi ning sees võis kasutada tapeeti või krohvi. Parema soojapidavuse tagamiseks kasutati kahe plangukihi vahel urbset puistematerjali. Puistematerjali jaoks jäeti suurem vahe kahe plangukihi vahele või sisemise plangukihi asemel paigaldati teatud sammuga karkassipostid. [4, 6, 7]



Joonis 5. Erinevad poolsooned ja nende kasutamine konstruktsioonis (mõõdud antud tollides) [4].



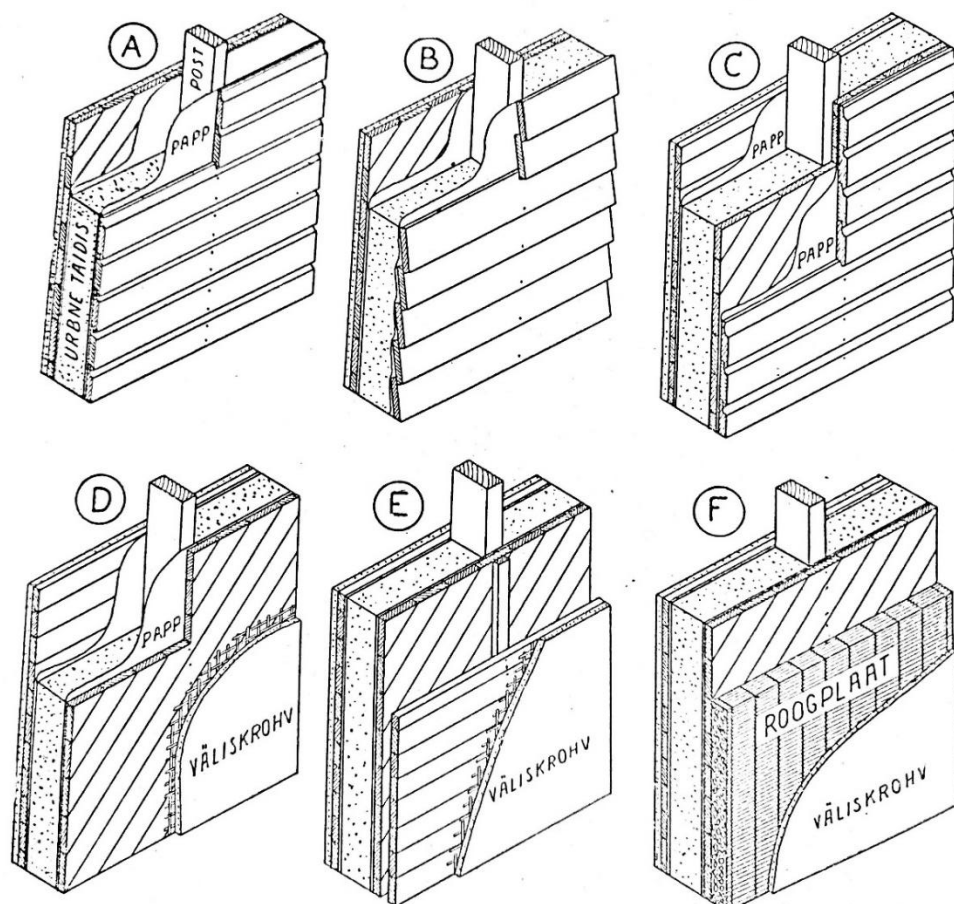
Joonis 6. Topeltplankseina sõrestikukonstruktsioon [4, 6].

Täitematerjalina kasutati urbset täidist, mis oli peamiselt sae- ja turbapuru, kuhu segati lupja või tsementi, kuid võis lisada ka põlevkivituhka või linaluud. Hea täitematerjali vahekord oli 1:15 kuni 1:20 (näiteks 20 osa turbapuru ja 1 osa lupja). Seinatäidete juures oli väga oluline, et see oleks kinni tambitud, kuna sellega anti hoonele parem soojapidavus, ühtlasem täitematerjali vajum ning vähendati märgatavalt näriliste juurdepääsu. [3]

Hüdroisolatsioonina kasutati isoleer- ehk tõrvapappi, mida pidi paigaldama põrandatalade otstele, mis toetusid vundamendile ning seinakonstruktsiooni alla. Samuti paigaldati tõrvapapp välisvoodri sisemisele küljele ja mõningatel juhtudel ka sisevoodrilaua välimisele küljele, et vältida täitematerjali pudisemist voodrilaudade vahedest. [3]

Puitkarkass-seina vooderdamise viise, mis levisid Eestis, oli mitmeid. Joonisel 7 on kirjeldatud kuus erinevat vooderdamise viisi. Seintel A ja B on näha sarnaseid

seinakonstruktsioone, kuid voodrilaua paigaldus erineb. Nende viiside puhul alustati paigaldamist sisemise diagonaalvoodrilaua ja papi ning seejärel paigaldati välisvoodrilaud ja välimine papp osade kaupa, et hõlpsustada vahetäite tihedat paigaldamist. Sein C lahenduse puhul alustati töid välimise diagonaalvoodri ja papi paigaldamisega, seejärel paigaldati osade kaupa sisemine horisontaalvooder koos papi ja täitematerjaliga. Seintel D, E ja F on näha krohvitud karkass-seina vooderdamis viise, kus seinal F kujutatud viis hakkas laialdasemalt levima 1940. aastatel. Krohvimisviisi puhul oli oluline, et sein ei krohvitaks kohekselt, kui kasutati niisket täitematerjali. Vastasel juhul hakkas niiskus kahjustama puitmaterjali ning soodustas majaseene teket. [4]



Joonis 7. Sõrestikkonstruktsiooni vooderdamise viisid [4].

Tabelist 1 on näha erinevate seinakonstruktsioonide soojapidavust. Kõige parema tulemusega oli sein, kus kasutati 200 mm paksust soojustus täitematerjali kihti. Selle konstruktsiooni ehitusmaksumus oli küll kõige suurem, kuid suurem soojapidavus tagas tunduvalt väiksemad küttekulud ning seetõttu oli majanduslikult kõige tasuvam. Kõige

kehvema soojapidavusega olid püstplankseina konstruktsioonid, kuhu ei olnud lisatud soojustusmaterjali (küll aga olid planguvahed takutatud). [4]

Tabel 1. Erinevate seinakonstruktsioonide soojapidavus [4]

Konstruktsiooni kirjeldus	Soojustuskihi paksus [mm]	Seina paksus [mm]	Soojapidavus [kcal/m ² ·h·°C]	Soojusläbivus * [W/m ² ·K]
Puitvoodriga sõrestiksein	125	170	0,53	0,616
Puitvoodriga sõrestiksein	150	210	0,48	0,558
Puitvoodriga sõrestiksein	200	260	0,39	0,454
Krohvitud välisvoodriga sõrestiksein	150	280	0,40	0,465
Puitvoodriga püstplanksein	100	260	0,45	0,512
Krohvitud välisvoodriga topeltplanksein	-	220	0,51	0,593
Puitvoodriga topeltplanksein	-	220	0,56	0,651

Märkus. Soojusläbivuse väärtused on teisendatud soojapidavuse väärtustest.

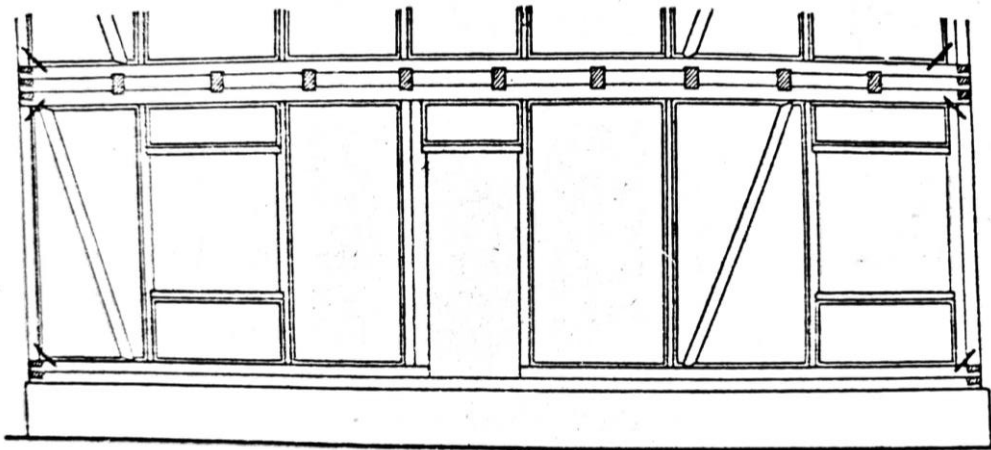
Hea soojapidavuse saavutamiseks on oluline kasutada kvaliteetseid materjale ning õigeid ehitustehnilisi võtteid. 1928. aastal anti välja Teedeministeeriumi ehitus-tehnika osakonna poolt normatiiv, mis sätestas ehitustöödele tehnilised nõuded ja tingimused. Normatiivis on kirjeldatud erinevad ehitus- ja abitööd ning selleks kuluvate materjalide kvaliteedi hindamist. Samuti on antud juhised tööde mõõtmiseks ja mahtude arvutamiseks. Ehitustööde tehniliste nõuete ja tingimustega sätestati hea ehitustava, mille järgimine tagas kvaliteetsema ja efektiivsema töö tegemise. [8]

1.2. 1918.-1940. aastal Eesti Vabariigis ehitatud puitkarkasshoonete ajalugu

Kuigi mujal maailmas, ennekõike Põhja-Ameerikas ning Lääne-Euroopas, hakati ehitama puitkarkasshooneid 19. sajandil [1], olid sel ajal Eestis laialt levinud rõhtpalkidest ehitatud tsaariaegsed tööliselamud, mis olid üldjuhul kahekorruselised töölikasarmud, kus olid väikesed korterid [2].

20. sajandil, mil Eesti sai iseseisvaks ning tihenes koostöö Lääne-Euroopaga, tuli aegsalt hakata üle minema ka uutele ehitusviisidele. Rahvastiku kasv ja urbaniseerumine tekitas nõudluse tulekindlamate ja soodsamate konstruktsioonide järele, sest metsad läksid aina kallimaks – seejuures ka puit ehitusmaterjalina – ning tekkis puitmaterjali defitsiit. Tuleohutus sai oluliseks linnades, kus ehitati puidust hooneid väga tihedalt ning tulekahju korral oli see suur risk mitte ainult ühele hoonele, vaid tuli võis levida mitmesse hoonesse. Sellest tulenevalt hakati Eestis ehitama tulekindlamaid ehitisi ja sõrestik tädisseintega hooneid. [3]

Kuna puitmaterjali tootmine ja kättesaadavus läks aina kallimaks, pidid ehitajad mõtlema viisidele, kuidas saaks ehitada püsivaid ja terviklikke hooneid väiksema puitmaterjali kuluga. Seega hakati ehitama puidust sõrestikkonstruktsioone, mis on postidest ja taladest koosnev tarind (joonis 8) [4]. Palkhoonete ehitamiseks kulub väga palju puitu, kus üldjuhul ühe puu kohta saab ühe palgi ning soojustusmaterjalina tihendatakse ainult palkide vahelised liited. Seejuures puitkarkasshoonetele kulub tunduvalt vähem puitu ning karkassivahed, mis täidetakse puistematerjaliga, on hea soojapidavusega. Peamiselt levisid sõrestikkonstruktsiooniga hooned linnades, kuid ajapikku hakati neid ehitama ka maakohtades. [3]



Joonis 8. Puitsõrestikkonstruktsioon [4].

Siinjuures tuleb märkida, et 1930. aastal kulus puitkarkasshoone ühe ruutmeetri ehitamisele umbes 7,1 krooni. See hind sisaldas sõrestikkonstruktsiooni seina püstitamist koos täitematerjali ja kinnitusvahenditega, vooderdust, värvimist, tõrvapapi paigaldust ning tapeetimist. Võrreldes seda püst- või põikpalk ja põletatud kividest seintega, oli vastavalt

esimesel seina ühe ruutmeetri hind 8,6 krooni ning teisel 9,55 krooni. Seljuhul oli palkmaja ühe ruutmeetri seina hind 21,1% ja kivimaja 34,5% kallim, sõrestik seina hinnast. Antud ruutmeetri maksumuse hinnad on toodud vastava aja printsiibis. [3]

19. sajandi lõpus ja 20. sajandi alguses hakati Tallinnas ehitama niinimetatud lenderi maju (joonis 9), mille nimetus on tulnud Voldemar Lenderist, kes oli 20. sajandi alguses esimene eestlasest Tallinna linnapea ning insener ja ehitusettevõtja. Lenderi majade levik oli tingitud tööstuse kiirest arengust, kus tehased vajasisid tööjõudu ning töölisel soodsat elamispinda. Seda tüüpi hooned olid enamjaolt kahekorruselised kortermajad, mida ehitati üldjuhul tahutud rõhtpalk-konstruktsioonist, kuid trepikodade ehitamisel kasutati puitkarkasskonstruktsiooni. Tavaliselt olid trepikojad külmad ja konstruktsioon soojustamata. [5]



Joonis 9. Lenderi tüüpi maja, Tööstuse 26, Tallinn [5].

Lenderi majade kõrval hakati 20. sajandi esimesel kümnendil ehitama tallinna maju. Tallinna maju iseloomustab kahe- või kolmekorruseline mitme korteriga puithoone, millel on kivitrepikoda (joonis 10). Varem oli lubatud ehitada kahe puittrepikojaga hooneid, kuid tulenevalt Vene tsaaririigi ehitusseaduse ja tuleohutusnormide muutumisega anti luba ehitada ühe kivitrepikojaga hooneid. „Tallinna maja“ termin võeti kasutusele 1970.–1980. aastatel, et iseloomustada ja rõhutada kivitrepikojaga hoonete omapära. [6]



Joonis 10. Tallinna maja, Jakobi 16, Tallinn [6].

Kui esimesed tallinna majad olid ehitatud rõhtpalk tarindiga, siis 1920. aastatel hakati üle minema topelt püstplankseina sõrestikkonstruksioonile. Viimase tarindi lahendus kiirendas oluliselt ehitusprotsessi ning vähendas hoonete ehitusjärgset vajumist. Soojapidavuse suurendamiseks takutati püstplankseina plankude vahed mõlemalt poolt või kasutati topeltplankseina, kus vahe täideti puistematerjaliga. [6]

1920.–1930. aastatel hakkas Lääne-Euroopas levima funktsionalism ning Eestisse jõudis see pärast majanduse paranemist 1930. aastatel. Funktsionalismi all mõeldakse modernseid villalikke üheperehooneid, mis on ehitatud valdavalt lamekatusega ning fassaad on krohvitud heledates toonides (joonis 11). Fassaadi krohvimise eesmärk oli anda hoonetele kivimaja välimus. Tihti peale ehitati funktsionalistlik elamu kahe- või kolmekorruselise ning kahe või kolme korteriga, kus omanikul oli võimalus osa hoonest välja üürida. Valdav osa Eesti funktsionalistlikest hoonetest ehitati topelt püstplankseina sõrestikkonstruksioonidega, kuna eestlaste jaoks oli puit soodsaim ja põhiline ehitusmaterjal. Plankude vahele jäeti ruumi soojusmaterjali jaoks, mis täideti urbe materjaliga, milleks võis olla turbasegu, linaluu või saepuru- ja lubjasegu. Enamjaolt olid seda tüüpi hooned mõeldud jõukama keskklassi inimestele. [7]



Joonis 11. Funktsionalistlik hoone, Tartu.

1.3. Uuritavate hoonete ülevaade

Hoonete valikul said määravaks järgnevad kriteeriumid:

- hoonete kandekonstruktsioon on puitkarkass;
- puitkarkassi vahel on soojustusena kasutatud urbset puistematerjali;
- hooned asuvad Tartus või Tartu lähiümbruses;
- uuritavate hoonete elanike nõusolek.

Uuritavate hoonete koondülevaade on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Uuritavate hoonete koondülevaade

Hooned	Hoone 1	Hoone 2	Hoone 3	Hoone 4
Korruselisus	1,5	2	2	2
Korterite arv	2	2	8	5
Hoone valmimise aasta	1936	1937	1928	1930
Ehitusalune pindala [m²]	140	146	252	254
Eluruumide pindala [m²]	200	274	375	362
Maht [m³]	758	851	1172	1214
Uuritavate korterite arv	1	1	2	1

1.3.1. Hoone 1 kirjeldus

Hoone 1 puhul on tegemist kahekorruselise ärklikorrusega kahepereelamuga, millel on ka keldrikorrus (joonis 12 ja 13). Hoone asub Tartumaal Ülenurmes ning on ehitatud aastal 1936. Kahepereelamu toetub lintvundamendile, kus sõrestikkonstruksiooni ja pööningu täitematerjaliks on kasutatud urbset puistematerjali, milleks on turvas. Välisviimistlusena on kasutatud fassaadil horisontaalset välisvoodrilauda ning katusekattematerjalina on kasutatud katusekivi.



Joonis 12. Hoone 1 vaade põhjast.



Joonis 13. Hoone 1 vaade läänest.

Käesolevas lõputöös on uurimise alla kaasatud teise korruse korter, millele edaspidistes peatükkides viidatakse kui hoone 1. Korterile on 2015. aastal tehtud sanitaarremont, mis hõlmas vannitoa uuendamist, teistes ruumides paigaldati uus parkett ning seintele kipsplaadid ja teostati siseviimistlus. Akende tüübiks on avatavad puitraamiga ja kolmekordse klaaspaketiga aknad. Korterite küttesüsteemiks on gaasikatel koos radiaatorite ja põrandaküttega ning külmemal perioodil kasutatakse abiküttena ahikütet ja õhksoojuspumpa.

1.3.2. Hoone 2 kirjeldus

Hoone 2 on kahekorruseline kahepereelamu, millel on lisaks keldri- ja pööningukorrus (joonis 14 ja 15). Hoone asub Tartus Ropka linnaosas ning on ehitatud 1937. aastal ja seejuures võetud 1997. aastal arvele muinsuskaitse mälestisena [9]. Vundament on valatud betoon lintvundament ning seinte kandev konstruktsioon on topelt püstplank puitkarkass, kus vahetäiteks on kasutatud turba segu. Fassaadi viimistlusmaterjalina on kasutatud lubikrohvi. Oma ajastu kohta on hoone eripäraks lamekatatus, mida kannavad laetalad ja kattematerjaliks on plekkprofiil. Pööningu põrand on soojustatud urbse materjaliga.



Joonis 14. Hoone 2 vaade lõunast.

a)



b)



Joonis 15. Hoone 2: a) ehitusaegne joonis ja b) valmimise järgne joonis [10].

Lõputöö raames võetakse vaatluse alla hoone esimese korruse korter, millele edaspidistes peatükkides viidatakse kui hoone 2. Mõõtmistes võib esineda mõningaid hälbeid, kuna mõõteperioodil avastati elutoa põrandal majavamm. Korterit põhiküttesüsteemina kasutatakse puuküttega ahjusid ning abiküttesüsteemina on vannitoas ja köögis gaasikatlaga põrandaküte. Korteril on algupärased topelt puitraamiga, ilma klaaspaketita, klaasist aknad. Aastal 2018 teostati vannitoas remont.

1.3.3. Hoone 3 kirjeldus

Hoone 3 on kahekorruseline kortermaja, kus on kaheksa korterit (joonis 16 ja 17). Hoone asub Tartus Ropka linnaosas. Selle ehitamist alustati 1927. aastal ning see valmis 1928. aastal. Algse planeeringuga oli hoonel neli korterit, mis olid ühesuguse ruumijaotusega ning korteriomanikel oli võimalik teisele korrusele välja ehitada magamistoad. Kortermaja teine korrus ehitati välja 1950. aastal, kuhu lisandus neli korterit juurde. Koos sellega ehitati hoone otstesse trepikojad, et tagada teise korruse korteritele juurdepääs. Seejuures on hoone võetud 1997. aastal arvesse muinsuskaitse mälestisena [9].



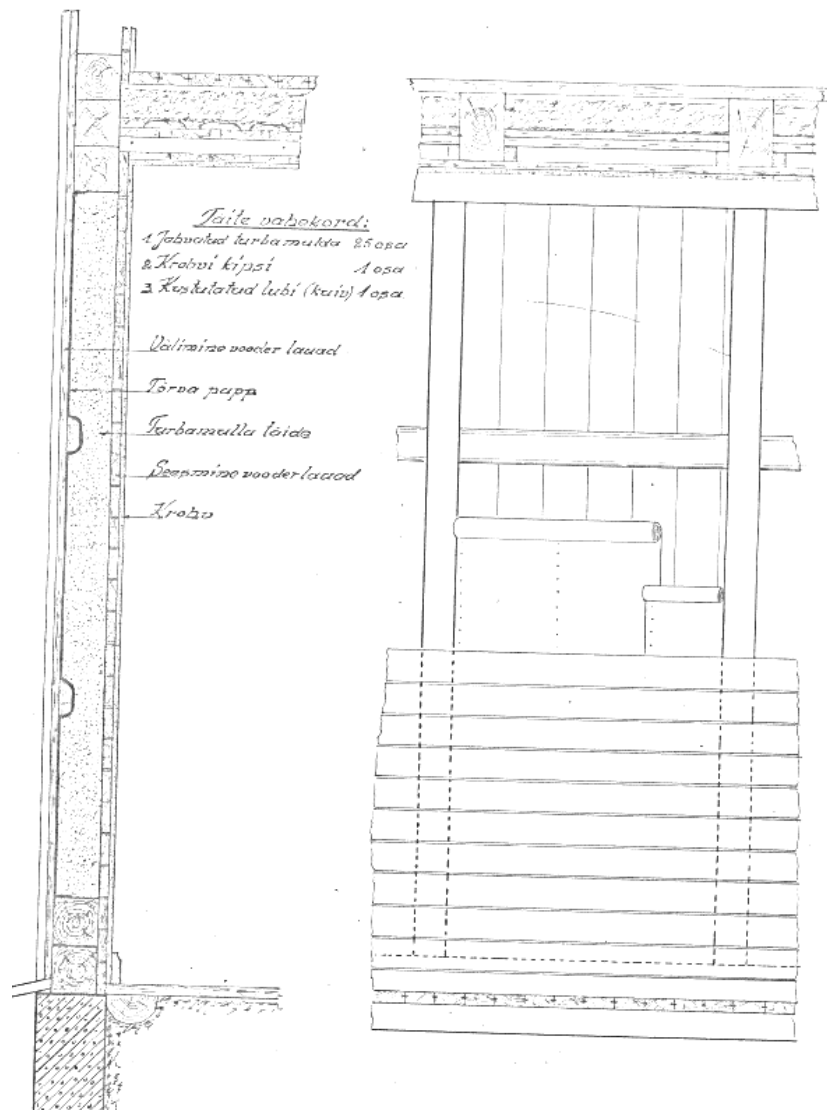
Joonis 16. Hoone 3 vaade edelast.



Joonis 17. Hoone 3 vaade kirdest.

Kortermaja on ehitatud betoonvundamendile ning kandvaks konstruktsiooniks on puitsõrestik, mille vahetäiteks on kasutatud jahvatatud turbamulla segu, kuhu on segatud krohvikipsi ja kustutatud lupja (joonis 18). Fassaadi viimistlusmaterjalina on kasutatud vertikaalset välisvoodrilauda. Puitsarikate peal on eterniidist katusekate ning pööningu põrandal on soojustusmaterjalina kasutatud urbset täitematerjali ning liiva. Antud uurimistöös uuritakse kahte korterit, millest esimene korter (edaspidistes peatükkides

kirjeldatud kui hoone 3_1) asub esimesel korrusel hoone keskosas ning teine korter (edaspidistes peatükkides kirjeldatud kui hoone 3_2) asub teisel korrusel hoone ääres.



Joonis 18. Hoone 3 konstruktsiooni lõige ja vaade [10].

Joonisel 18 on näha sõrestiku täitevahetorkord järgmiselt: 25 osa freesturvas, 1 osa krohvikipsi ja 1 osa kuiva kustutatud lupja. Konstruktsioonikihid väljast poolt sisse jagunevad järgmiselt: vertikaalne välimine voodrilaud, horisontaalne voodrilaud, tõrvapapp, karkassipostid 125x125 mm ja 75x125 mm (vahel turbatäide), horisontaalne sisemine voodrilaud ja krohv.

1.3.4. Hoone 4 kirjeldus

Hoone 4 ja hoone 3 on konstruktsioonilt ja planeeringult sarnased, kuid see hoone ei ole võetud arvele kultuurimälestisena. Hoone asub Tartus Ropka linnaosas ning on ehitatud 1930. aastal (joonis 19 ja 20). Korterimaja on kahekorruseline ning viie korteriga. Välisseina ja vahetäite kirjeldus on antud joonisel 18.



Joonis 19. Hoone 4 vaade kirdest.



Joonis 20. Hoone 4 vaade põhjast.

Antud lõputöös kaastakse seisukorra hindamiseks üks korter (edaspidistes peatükkides kirjeldatakse kui hoone 4), mis on kokku ehitatud kolmest korterist ja läbi kahe korruse. Sisekliima mõõtmistel kirjeldatakse hoonet esimesel korrusel kui hoone 4_1 ning teisel korrusel hoone 4_2. Korteri on 1990. aastatel tehtud sanitaarremont, kus uuendati vannituba ja siseviimistlust ning ehitati saunaruum. Põhiküttesüsteemiks on ahiküte ning abiküttesüsteemiks on õhksoojuspump.

2. ELAMUTE E HITUSTEHNILISE SEISUKORRA HINDAMISE JA EHITUSFÜÜSIKALISTE MÕÕTMISTE METOODIKA

2.1. Ehitustehnilise seisukorra hinnang

Ehitustehnilise seisukorra hinnang on spetsialisti poolt läbiviidav uuring ja analüüs, mis hõlmab ning annab detailse ülevaate hoone kandekonstruktsioonide, viimistluse ja eriosade kohta ning seejuures kaardistab probleemseid kohad. [11]

Hoonete tehnilise seisukorra hinnangu andmisel lähtutakse AS Kommunaalprojekti poolt koostatud ja Eesti Riikliku Eluameti poolt kinnitatud hoonete füüsilise kulumi määramise tabelitest [12], seejuures lähtutakse visuaalsest ülevaatest ja mittepurustavate meetodite kasutamisest. Seisukorra määramisel hinnatakse põhikonstruktsioone, viimistlust ja tehnovõrke, mis on jaotatud konstruktiivelementide järgi gruppideks. Konstruktiivelementid ning nende maksumuse osatähtsus kogu hoonest on kirjeldatud tabelis 3. Konstruktiivelementide maksumuse osatähtsus võetakse ette antud tüüphoone järgi, kuid modifitseeritakse vastavalt lõputöös hinnatavate hoonete konstruktsioonide osakaalu järgi.

Tabel 3. Hoone konstruktiivelementid ja maksumuse osatähtsused [12]

Jrk	Konstruktiivelement	Konstruktiivelementide maksumuse osatähtsus [%]
1	Vundamendid	12
2	Välisseinad	10
3	Vaheseinad	8
4	Vahelaed	10
5	Katusekonstruktsioon	5
6	Katusekate	5
7	Põrandad	6
8	Aknad	5
9	Uksed	5
10	Viimistlus	10
11	Küte	13
12	Veevarustus ja kanalisatsioon	4

Tabel 3 järg

Jrk	Konstruktiivelement	Konstruktiivelemendi maksumuse osatähtsus [%]
13	Gaasivarustus	3
14	Elekter	4
15	Muud tööd	-
Kokku:		100

Hoonete füüsiline kulum arvutatakse valemiga 2.1, kus lähtutakse konstruktsioonide maksumuse osatähtsusest ning füüsilisest kulumist. [12]

$$F_k = \Sigma_{1-15}(m \times f)/100, \quad (2.1)$$

kus F_k – hoone füüsiline kulum [%];

m – konstruktiivelemendi osatähtsus [%];

f – konstruktiivelemendi füüsiline kulum [%].

Konstruktsiooni maksumuse osatähtsus on protsentuaalselt jaotatud konstruktiivelementide vahel ära, kus kõige suurema osakaaluga elemendi protsent on kõige kõrgem. Seejuures konstruktiivelemendi füüsiline kulum antakse hinnangu läbiviija poolt, kus hinnatakse kahjustuse suurust ja/ või levikut. [12]

Näitena võib tuua kahekorruselise keldriga palkelamu, mille looduskivist vundamendi osatähtsus on 11% kogu hoonest. Füüsilise kulum hindamisel vaadeldakse pragude olemasolu ja laiust, sokli vajumist ja nõtkumist ning keldri põrandate ja seinte lagunemist. Kui esineksid mõned praod laiusega kuni 2 mm, antakse füüsiliseks kulumiks 20% (kogu hinnangu vahemik on 0 – 20%). Seljuhul oleks hoone füüsiline kulum 2,2 %.

2.2. Hooneelanike küsitlus

Käesolevas uurimistöös viiakse läbi hooneelanike seas ankeetküsitlus, millega tehakse kindlaks elanike hoiakud ja rahulolu hoone tehnilise seisukorraga. Ankeetküsitluse aluseks võetakse Tallina Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna Ehituse ja arhitektuuri instituudi teadlaste poolt koostatud ankeetküsitlus, mida on kasutatud varasemalt puit- ning betoonkorterelamute uurimisel [2, 13]. Käesoleva lõputöö tarbeks modifitseeritakse küsitlust vastavusse puitkarkasshoonetega.

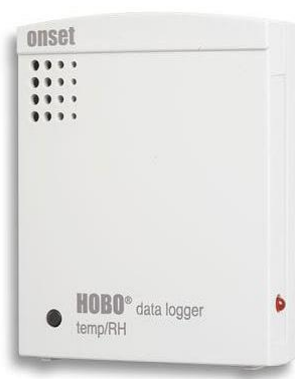
Küsimustikus keskendutakse järgnevatele punktidele:

- elamupinna kirjeldus ning varasemad remonditööd;
- tehniline seisukord (avatäited, siseviimistlus, hallituse esinemine, märjad ruumid);
- ventilatsiooni-, kütte- ja jahutussüsteemid;
- elanike rahulolu sisekliimaga (õhu kvaliteet, vastuvõetavus, soojuslik tunnetus).

2.3. Sisekliima parameetrid

Sisekliima parameetrite mõõtmisel tuginetakse standardile EVS-EN ISO 13788:2012 [14] ja EVS-EN ISO 15251:2007 [17]. Hoonetes mõõdetakse suhtelist õhuniiskust ning siseõhu temperatuuri ning andmete salvestamiseks kasutatakse seadet Hobo U12-011 (joonis 21), mille mõõtmisparameetrid on järgmised:

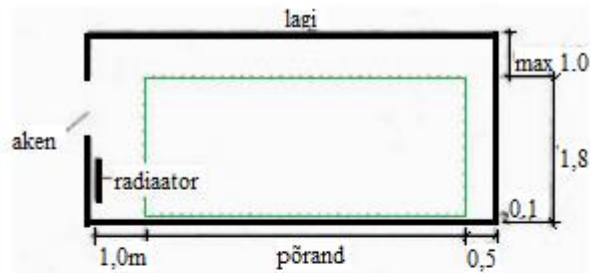
- temperatuuri mõõtevahemik -20°C kuni 70°C ;
- temperatuuri mõõtetäpsus vahemikus 0°C kuni $50^{\circ}\text{C} \pm 0,35^{\circ}\text{C}$;
- suhtelise õhuniiskuse mõõtevahemik 5% kuni 95%;
- suhtelise õhuniiskuse mõõtetäpsus vahemikus 10% kuni $90\% \pm 2,5\%$. [15]



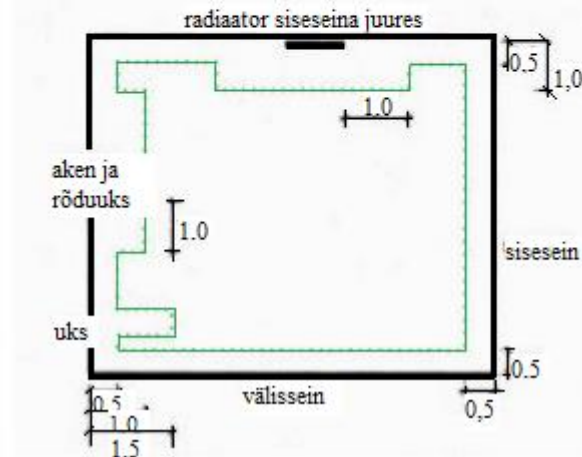
Joonis 21. Andmesalvestaja Hobo U12-011 [15].

Andmesalvestaja paigaldatakse igasse mõõtmise all olevasse korterisse elu- või magamistuppa – see tähendab ruumi, kus elanikud põhiliselt viibivad ehk n-ö kontrolltsooni (joonis 22). Kontrolltsooni põhimõtteline skeem on võetud standardist EVS 839:2003 [18]. Mõõteandur tuleb paigaldada kõrgusele 1,2 kuni 1,5 meetrit ning üldjuhul mööblieseme külge püstisesse asendisse. Samuti ei tohi andur paikneda akende ja välisseinte läheduses ning peab vältima otsest päikesekiirgust ja soojusallikate lähedust. [16, 17]

a)



b)



Joonis 22. Mõõtepiirkonnaks sobilik kontrolltsoon: a) ruumi lõige ja b) ruumi plaan [18].

Andmeid salvestatakse vähemalt poolteist kuud ning 30 minutiliste intervallidega. Väliskliima andmete mõõtmiseks paigaldatakse välja üks andmesalvestaja ning lisaks võetakse arvesse Eesti Maaülikooli Tehnikamaja ilmajaama andmeid [19].

Hoones tekkivat niiskust Δv arvutatakse valemiga 2.2, mille leidmisel võrreldakse siseõhu ja välisõhu veeaurusisalduse vahet. Niiskust kasutatakse temperatuuriindeksi piirsuuruse määramisel. [14]

$$\Delta v = v_i - v_e, \quad (2.2)$$

kus Δv – niiskust [g/m³];

v_i – siseõhu veeaurusisaldus [g/m³];

v_e – välisõhu veeaurusisaldus [g/m³].

Veeauru küllastusrõhk p_{sat} arvutatakse valemiga 2.3 ja 2.4, kus p_{sat} on sõltuvuses õhutemperatuurist. [14]

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot t}{237,3+t}}, \text{ kui } t \geq 0^\circ\text{C}, [\text{Pa}], \quad (2.3)$$

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot t}{265,5+t}}, \text{ kui } t < 0^\circ\text{C}, [\text{Pa}], \quad (2.4)$$

kus t – õhutemperatuur [$^\circ\text{C}$].

Veeauru sisalduse küllastustaset õhus v_{sat} arvutatakse valemiga 2.5. [14]

$$v_{sat} = \frac{M_w \cdot p_{sat}}{R \cdot T}, \quad (2.5)$$

kus v_{sat} – veeauru sisalduse küllastustase õhus [kg/m^3];

M_w – vee molaarmass 18,015 kg/kmol ;

R – gaasikontant 8314,41 $\text{J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$;

T – õhu temperatuur $273,15 + t$ [K], kus t on õhu temperatuur [$^\circ\text{C}$].

Õhu suhteline niiskus φ arvutatakse valemiga 2.6. [14]

$$\varphi = \frac{v}{v_{sat}} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

kus φ – suhteline niiskus [%];

v – veeaurusisaldus õhus [Pa];

v_{sat} – veeauru küllastussisaldus õhus [Pa].

Sisekliima juures on oluline jälgida õhukeskkonna näitajaid, sest hea sisekliima vähendab haigestumise riski, tekitab inimesele mugavustunde ning suurendab tööefektiivsust [2]. Kuigi igal inimesel on isiklikud eelistused sisekliima soojusliku toimivuse suhtes, on kehtestatud vabariigi valitsuse määrusega nr 85 miinimumnõuded eluruumidele. Eluruumides peab olema optimaalne siseõhu temperatuur, kuna see tagab hubase, tervisliku ning ohutu sisekeskkonna. Samuti peab olema tagatud kõige soodsam siseõhu suhteline niiskus, kuna sellega saab vältida kondenseerumise ning hallituse teket. [28]

Tabelis 4 on toodud sisekliima klassid, mis on jaotatud neljaks, kus kõrgematele klassidele on esitatud kõrgemad nõudmised, mis omakorda tagavad tunduvalt mugavama ja kvaliteetsema keskkonna. [17]

Tabel 4. Sisekliima klassid [17]

Sisekliima klass	Selgitus
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, näiteks puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed.
II	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes.
III	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes.
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajasl aastast.

Tabelis 5 on kirjeldatud sisekliima klasside piirsuurused talveperioodil, mille abil on võimalik määratleda uuritavate hoonete sisekliimaklass. Seejuures võetakse arvesse, et hoonetes on avatavad aknad ning võimalus valida riideid. Tabel on kombineeritud standardist EVS 839:2003 [18] ja EVS-EN ISO 15251:2007 [17].

Tabel 5. Sisekliima klasside piirsuurused talveperioodil [17, 18]

Sisekliima klass	Temperatuur [°C]	Suhteline õhuniiskus [%]
I	21°C kuni 23°C	30% kuni 50%
II	20°C kuni 24°C	25% kuni 60%
III	19°C kuni 25°C	20% kuni 70%
IV	<19°C kuni >25°C	<20% kuni >70%

2.4. Termograafia

Termografeerimisel lähtutakse standardist EVS-EN 13187:2001 [20], mille tulemusel tuvastatakse hoonete külmasillad ning õhulekke kohad. Külmasildadeks arvestatakse kohti piirdetarindites, kus võrreldes kogu tarindiga, on soojusjuhtivus suurem. Põhilised külmasillad on tingitud ehituskonstruktiiivsetest lahendustest ning hoone geomeetriast, näiteks põranda ja välisseina liide, hoone nurgaliide, akna ja välisseina liide ning läbiviigud soojustusest [2]. Õhulekke kohad tuvastatakse koos hoone piirete õhupidavuse analüüsiga, kus tekitatakse hoonesse alarõhk seadmega BlowerDoor.

Termograafia, mida nimetatakse ka infrapunauuringuks, viiakse läbi infrapuna kaameraga, kus pildistatakse hoonete piirdetarindeid ning võrreldakse pinnatemperatuuri erinevusi. Esmalt pildistatakse ning kaardistatakse külmasillad tavaolukorras, kus tehakse nii termopilt, kui ka tavaline foto. Sel viisil antakse parem ülevaade külmasilla asukohast. Sellele järgnevalt tekitatakse hoones BlowerDoor seadme abil 50 Pa suurune alarõhk, mida tuleb hoida vähemalt 10 minutit. Seejärel pildistatakse hoone termokaameraga teist korda ning tuvastatakse ja kaardistatakse õhulekkekohad. [20, 21]

Käesolevas uurimistöös kasutatakse infrapuna kaameraid Flir b50 ja Flir i7, mille mõõtmisparameetrid on järgmised:

- Flir b50 (joonis 23) mõõtevahemik -20°C kuni $+120^{\circ}\text{C}$, mõõtetäpsus $\pm 2^{\circ}\text{C}$ või $\pm 2\%$ lugemitest ning eraldustundlikus $\leq 0,09^{\circ}\text{C}$ [22].
- Flir i7 (joonis 24) mõõtevahemik -20°C kuni $+250^{\circ}\text{C}$, mõõtetäpsus $\pm 2^{\circ}\text{C}$ või $\pm 2\%$ lugemitest ning eraldustundlikus $\leq 0,15^{\circ}\text{C}$ [23].



Joonis 23. Termokaamera Flir b50 [22].



Joonis 24. Termokaamera Flir i7 [23].

Temperatuuriindeksid f_{Rsi} arvutatakse valemiga 2.7, millega kirjeldatakse piirdetarindi külmasildade kriitilisust. Arvutused sõltuvad sisepinna temperatuurist, siseõhu temperatuurist ning välisõhu temperatuurist. [20]

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e}, \quad (2.7)$$

kus f_{Rsi} – temperatuuriindeks;
 t_{si} – sisepinna temperatuur [°C];
 t_e – välisõhu temperatuur [°C];
 t_i – siseõhu temperatuur [°C].

Veeauru kondenseerumise ning hallituse kasvu vältimiseks on arvatud Eestis temperatuuriindeksite piirsuurused, mis on seoses hoone niiskuskooormusega. Hooned, kus on ebatõhus ventilatsioon ning suurem elanike arv, on niiskuselise väärtus suvel +2,5 g/m³ ja talvel +6 g/m³ ning vastavalt sellele on kondenseerumise vältimise piirsuurus $f_{Rsi} \geq 0,70$ ning hallituse vältimise piirsuurus $f_{Rsi} \geq 0,80$. Hooned, kus on efektiivsem ventilatsioon ning väiksem elanike arv, on niiskuselise väärtus suvel +1,5 g/m³ ja talvel +4 g/m³ ning vastavalt sellele on kondenseerumise vältimise piirsuurus $f_{Rsi} \geq 0,55$ ning hallituse vältimise piirsuurus $f_{Rsi} \geq 0,65$. [24]

2.5. Piirete õhupidavus

Uuritavate hoonete välispiirete õhupidavuse määramisel baseerutakse standardile EVS-EN 9972:2015 [25]. Õhupidavuse määramisel tuvastatakse hoonete välispiirete õhulekke kohad ning hoone õhutihedus, misjuures analüüs teostatakse sama aegselt termografeerimisega. Välispiirete õhupidavusel on suur mõju järgmistele hoone parameetritele:

- tuleohutus;
- müraprobleemid;
- ventilatsioonisüsteemide toimivus;
- sisekliima kvaliteet ja tuuletõmbus;
- välispiirde pindade temperatuuri langus;
- hallituse, õhusaaste ja radooni levik siseruumidesse;
- ebameeldivate lõhnade levik korterite vahel;

- hallituse teke ja veeauru kondenseerumine;
- hoone energiatõhusus. [2]

Välispiirete õhupidavust mõõdetakse õhuhõrendust mõõtvat aparatuuriga BlowerDoor, mille parameetrid on toodud tabelis 6. Mõõtmine viiakse läbi terve hoone või korterite kaupa, kus mõõteseade paigaldatakse reeglina välisukse avasse (joonis 25). BlowerDoor seade koosneb ventilaatorist, reguleeritavast alumiiniumraamist, õhutihedast kangast ning juhtimis- ja mõõtmisseadmest [26].

Tabel 6. Seadme BlowerDoor andmed [26]

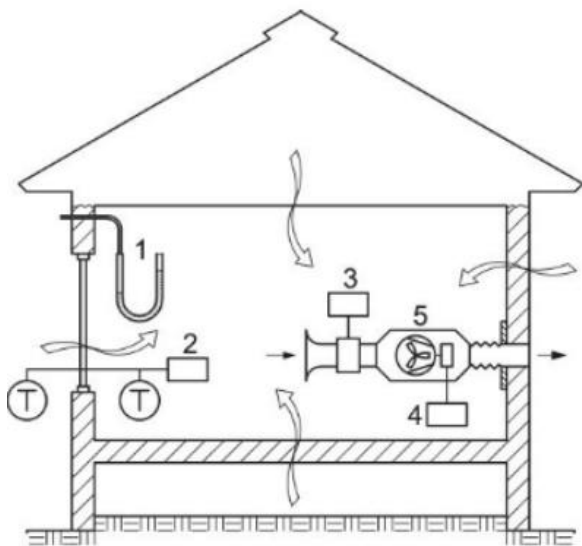
Seadme osa	Nimetus	Mõõtevahemik
Tarkvara	TECTITE	-
Raam	Reguleeritav alumiiniumraam	Kõrgus 1320 mm kuni 2440 mm Laius 72 mm kuni 1010 mm
Mõõtur	DG-700	-1250 Pa kuni 1250 Pa
Ventilaator	BlowerDoor Model 3	5 l/s kuni 2973 l/s



Joonis 25. Mõõteaparatuuri paigaldus välisukse avasse.

BlowerDoor ventilaatori abil tekitatakse hoones õhurõhkude erinevus sise- ja väliskeskkonna vahel, mille abil mõõdetakse õhuvooluhulga suurst, mida on tarvis, et hoida keskkondade vahelist rõhuerinevust. Õhuvooluhulga suurst mõõdetakse üle- ja alarõhu tingimustes erinevate rõhutasemete juures 10 Pa suuruse sammuga (alarõhu juures jääb vahemik -60 Pa kuni -10 Pa ning ülerõhu juures 10 Pa kuni 60 Pa) ning täpsustatud tulemused saadakse -50 Pa ja 50 Pa juures vastavussirge abil. [2]

Joonisel 26 on kirjeldatud hoone õhupidavuse mõõtmiste põhimõtteline skeem. Skeemil on näha õhurõhu erinevuse- (1) ja temperatuuri mõõteseadet (2), mida võib kasutada mõõtmisi läbi viies. Õhuhõrenduse mõõteseadet on kirjeldatud skeemil numbriga 3 (juhtimisseade), 4 (mõõteseadet) ja 5 (ventilaator). [25]



Joonis 26. Hoone õhupidavuse mõõtmise põhimõtteline skeem [25].

Hoone õhupidavuse mõõtmisel järgitakse 2. katsemeetodi [25], mis on kirjeldatud järgmiselt:

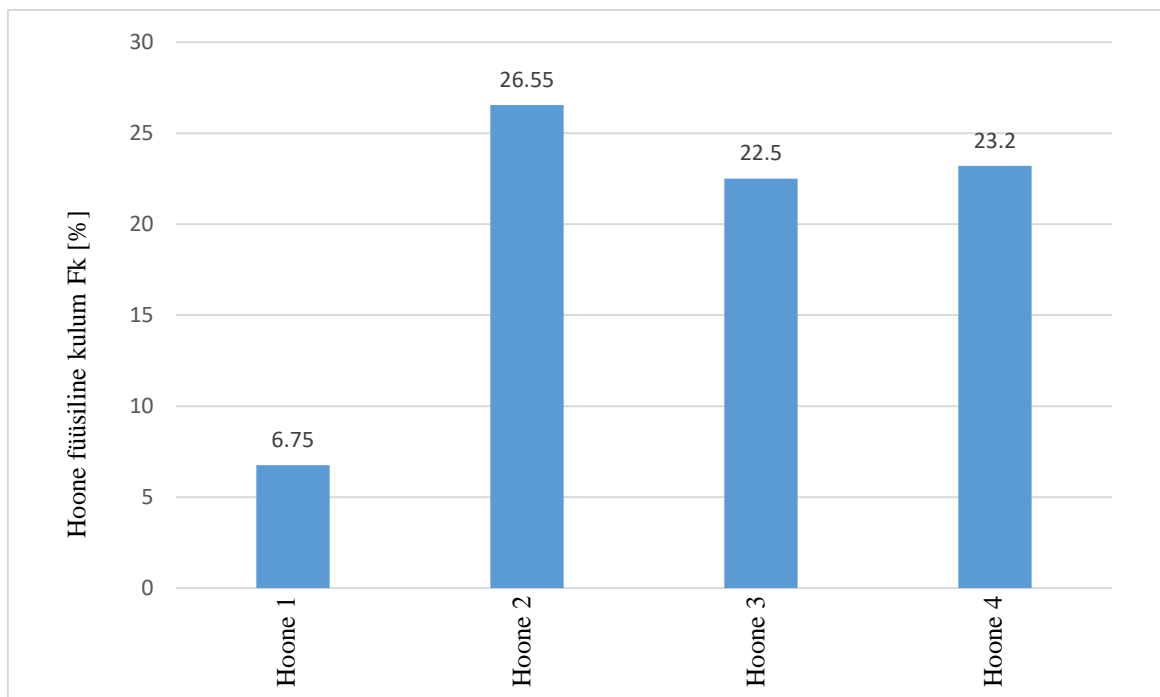
1. suletakse välispiirete avatäited (uksed, aknad, luugid);
2. teibitakse kinni köögikubud, ventilatsiooniavad, värskeõhuklapid, vajadusel ahju- ja pliidi luugid ning siibrid;
3. kontrollitakse, et oleks suletud veekraanid ning haisulukkudes, trappides ja WC pottides oleks vesi;
4. avatakse sisemised vaheuksed;
5. paigaldatakse BlowerDoor seade ning sisestatakse TECTITE programmi vaatluse all oleva hoone või hooneosa parameetrid;
6. viiakse läbi õhupidavuse mõõtmine. [2]

3. HINDAMISTE JA MÕÕTMISTE TULEMUSED

3.1 Ehitustehnilise seisukorra hinnang

Hoonete tehnilise seisukorra hinnangu andmisel lähtuti Eesti Riikliku Eluameti poolt koostatud hoonete füüsilise kulumi ning seisukorra hindamis tabelitest [12]. Seisukorra hinnang viidi läbi mittepurustavaid meetodeid kasutades visuaalsel hinnangul, kus hinnati hoonete põhikonstruktsioone, viimistlust ning tehnovõrke. Sellest tulenevalt on ehitise tehnilise seisukorra hinnangu tulemus vastavuses hinnangu läbiviija teadmiste ja kogemustega. Uuritavatel hoonetel võib esineda konstruktsioonisiseseid kahjustusi, mida polnud võimalik hinnata visuaalsel teel.

Hoone füüsilise kulumi arvutamisel anti hoone erinevatele osadele osamaksumuse tähtsus kogu hoonest ning seejärel vastavalt tuvastatud kahjustustele füüsiline kulum. Jooniselt 27 on näha kõigi hoonete füüsilist kulumit. Iga hoone füüsilise kulumi arvutustabel on välja toodud lisas 1 (tabelid L1.1. kuni L1.4.).



Joonis 27. Hoonete füüsiline kulum.

Hoone 1 puhul on füüsiline kulum kõige väiksem (6,75%), kus kõige märgatavamad kahjustused olid soklil. Hoone 3 ja 4 on oma olemuselt väga sarnased ning see kajastub ka füüsilises kulumis, kus esimese hoone füüsiline kulum on 22,5% ning teisel 0,7% suurem (23,2%). Hoone 2 oli kõige suuremate kulumismärkidega ning üleüldine konstruktiivselementide füüsiline kulum on 26,55%. Hoonete keskmine füüsiline kulum on 19,75%.

Hoone 1 soklil esinesid mõned peenemad praod (joonis 28), mis on tõenäoliselt tingitud hoone vajumisest tekkinud pingetest. Hoonel 3 ja 4 (joonis 29, 30) esinesid tunduvalt suuremad kahjustused, kus oli näha sokli ja välisvoodrilaua alumise osa kahjustusi. Hoone 3 ja 4 puhul on sokli ja pinnasevaheline piir liiga madal ning sokli hüdroisolatsioon on lagunenud või puuduv. Seetõttu koguneb suur hulk niiskust soklile ja välisseinale, mis kahjustab soklit, fassaadi ning seinte kandekonstruktsiooni ning soodustab mikroorganismide kasvu ja levikut. Edasiste kahjustuste uurimiseks tuleks seinakonstruktsioon avada. Lisaks sellele tundub, et hoone 3 ja 4 soklil on tehtud kohtparandusi. Hoonel 2 esinesid vundamendil mõned üksikud praod, kuid keldriseintel oli mõningates kohtades näha niiskuse kogunemist, mis on tingitud kulunud hüdroisolatsioonist või ebatihedatest keldriakendest. Keldriaken seejuures töötab loomuliku ventilatsioonina, juhtides keldrist liigse niiskuse välja.



Joonis 28. Hoone 1 soklil vajumisest tingitud pragu.



Joonis 29. Hoone 3 sokli ja välisseina kahjustus.



Joonis 30. Hoone 4 sokli ja välisseina kahjustus.

Hoone 2 välisseinal esinesid märgatavad kahjustused (joonis 31, 32), kus välisseintel on krohvikihht lahti ning puitkonstruktsioon on kokkupuutes välisilmastiku oludega. Kokkupuude ilmastikutingimustega soodustab niiskuse levikut konstruktsiooni ning edasiseid kahjustusi. Krohvikihi kulunud ja lagunenu kohtades oli seespool seinatunda ka oluliselt jahedamaid kohti. Lisaks sellele on väga kulunud fassaadi viimistluskiht, kus on näha värvi koorumist ja tuhmumist. Fassaadi viimistluskiht on amortiseerunud hoonetel 3 ja 4 ning vajab täies ulatuses taastamist.



Joonis 31. Hoone 2 fassaadikahjustus.



Joonis 32. Hoone 2 kulunud fassaad.

Siseseinte konstruktsioonidel märgatavaid vigastusi ei esinenud, küll aga esines kahjustusi viimistluskihtidel. Kõikidel hoonetel oli näha väiksemaid kulumismärke seinavärvil ja tapeedil, kuid hoonel 1 esines kulumist kõige vähem (tingitud siseviimistluse värskendamisest).

Vahelagede ning põrandate juures oli kõige suurem kahjustus hoonel 2, kus esimese korruse põrandal tuvastati majavamm (enne seisukorra hindamist). Majavamm tekkis niiskuse levimisest põrandakonstruktsiooni, kuna varasemalt oli köögis vann, mille torustik lekkis. Majavammi levikut soosis niiskuse lekkimine jahedale esimese korruse põrandale. Pärast köögi remonti peatati niiskuse levimine ning see omakorda peatas majavammi leviku hoone põrandast kaugemale. Samuti paigaldati köögi põrandale põrandasoojustus, mis tekitas väga ebasoodsad tingimused majavammi levimiseks (kuiv ja soe). Remonditööde käigus avati

hoone 2 esimese korruse põrandakonstruktsioon (joonis 33) ning teostati seenkahjustuse tõrje. Põrandate lahti võtmine võis põhjustada hülbeid teistes ehitusfüüsikalistes mõõtmistes. Teistel hoonetel esines põrandatel väiksemaid kulumismärke, kus mõningates kohtades oli näha kergemaid parketi või põrandalaudade kulumisi.



Joonis 33. Hoone 2 esimese korruse avatud põrandakonstruktsioon.

Hoone 1 katusekonstruktsioon oli hästi säilinud, kuid katusekivide laotises oli mõningates kohtades näha pilusid (joonis 34), mis omakorda põhjustab niiskuse levimist katusekonstruktsiooni. Hoone 2 katusekonstruktsioonis oli näha niiskuse kondenseerumist katuseplekile ja roovidele (joonis 35). Hoonetel 3 ja 4 oli näha n-ö katuse lainetamist, mis on põhjustatud sarikate või pärlinite kahjustusest või vajumisest. Samuti oli näha hoonetel 3 ja 4 katusekattematerjalis läbistusi ja üksikuid vigastusi (joonis 36) ning katuse otsalaua räästakasti mädanenud laudiseid (joonis 37), kust lekib niiskus katusekonstruktsiooni. Hoonetel 3 ja 4 olid kahjustunud ka vihmavee äravoolu süsteem.



Joonis 34. Hoone 1 katusekivide vaheline pilu.



Joonis 35. Hoone 2 vee kondenseerumine katuseplekile ning märgunud katuseroovitus.



Joonis 36. Hoone 3 katusekatte katkestus.



Joonis 37. Hoone 4 katuse kahjustunud otsalaud ja räästakast.

Hoonete avatäited olid üldjuhul rahuldavas olukorras, välja arvatud hoone 2 aknad. Hoone 2 aknad olid kahekordse raamiga klaasaknad, mis olid kinni teibitud kileteibiga (joonis 38), et vähendada tuuletõmmet. Samuti olid aknad väga kehva soojapidavusega. Teistel hoonetel esines välisuste ja akende tihendite kulumist ning mõningatel juhtudel oli tunda kergemat tuuletõmmet. Hoone 4 oli teisel korrusel vana trepikoja välisuks, kust oli tunda tugevat õhuliikumist.



Joonis 38. Hoone 2 kileteibitud aken.

Kõikide hoonete tehnosüsteemid olid heas korras ning ei tuvastatud kahjustusi või kulumismärke. Seejuures aga tuleb ära märkida, et hoonetes, kus küttesüsteemidena kasutati pliite ja ahjusid, esines kõikidel kergemaid mõrasid ja pragusid kivide laotises. Praod ja

mõrad on tingitud sidematerjali kulumisest kõrge kuumuse käes. Hoonetes 1 ja 2 kasutatakse abikütteseadmena gaasikatelt, kus hoonel 1 teostati viimati seadme ülevaatus 2017. aastal ning hoonel 2 2018. aasta lõpul. Gaasiseadme ülevaatus peaks teostama igal aastal.

3.2 Hooneelanike küsitlus

Kõikides hoonetes, mille korterid olid kaasatud õhupidavuse, termografeerimise ning sisekliima mõõtmistesse, viidi elanike seas läbi rahulolu küsitlus. Küsitlustega tehti kindlaks elanike hoiakud ja rahulolu sisekliimaga, elamupinna kirjeldus ning varasemad remondid, elanike rahulolu hoone tehnilise seisukorraga ning tehnosüsteemide olukord. Ankeetküsitluse üks osa küsimustikust oli valikvastustega ning teine osa oli seitsme palli skaalal hinnangu andmine.

Kõikides korterites, kus viidi läbi küsitlus, on korterid eraomandis. Hoonetes 3_1 ja 3_2 on elanike arv elamispinnal üks. Hoonetes 1 ja 2 on elanike arv kaks ning mõlemas elab lemmikloom. Hoones 4 on elanike arv viis ning lisaks üks lemmikloom.

Eesti keskmine tavaeluruumide pind elaniku kohta on 30,5 m² [27], mis on võrreldes uuritavate hoonetega 6,7 m² madalam (keskmine 37,2 m²). Kõige kõrgem eluruumide pind elaniku kohta oli hoones 1 (55,9 m²) ning kõige madalam oli hoones 4 (19,4 m²).

Kõikides korterites on teostatud remonttöid, kus peamiselt on värskendatud siseviimistlust ning teostatud sanitaarremont vannitubades. Hoonetes 1 ja 3_2 teostati remonditöid 2-5 aastat tagasi. Hoonetes 3_1 ja 4 tehti viimati remonti rohkem kui kümme aastat tagasi. Hoones 2 käib remonditöö köök-elutoas, kus tõrjutakse majavammi. Majavammi teket võib seostada niiskuskahjustusega, kus köögis lekkis umbes 10 aastat tagasi vanni torustik. Teistes korterites niiskuskahjustusi ei ole esinenud.

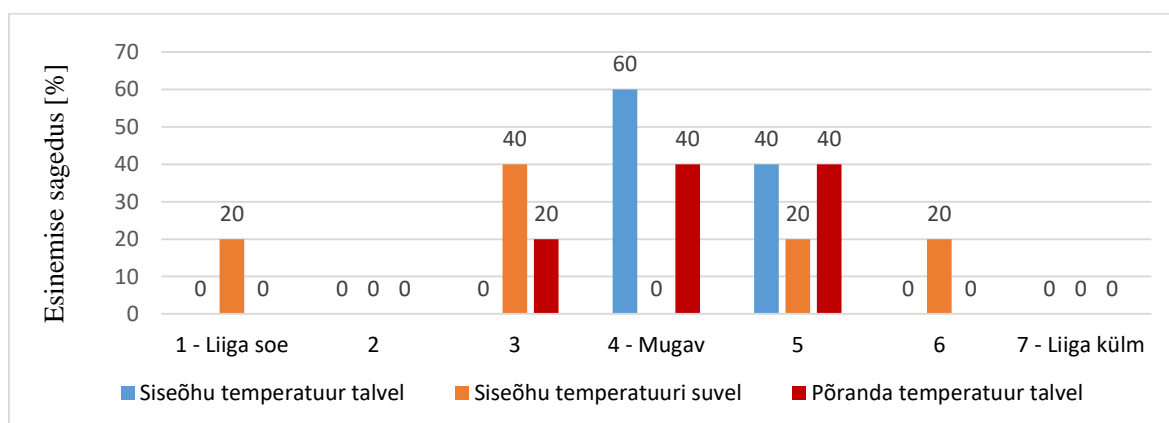
Kahes korteris on viimase kümne aasta jooksul välja vahetatud aknad. Kolmes korteris on kahekordse klaaspaketiga PVC aknad, ühes hoones on kolmekordse klaaspaketiga puitaknad ning ühes hoones on topeltraamiga ilma paketita klaasaknad. Kõikides uuritavates korterites on igas toas vähemalt üks avatav aken. Kaks korteriomanikku viiest kurtsid, et talvel söögitegemisega lähevad aknad uduseks, kuid üheski korteris ei teki akendele härmatist.

Kõikides korterites kuivatatakse pesu siseruumides, kuid valdavalt tehakse seda talveperioodil. Talveperioodil pesu kuivatamine siseruumides suurendab niiskuskooormust ja kondenseerumise teket sisepindadele.

Kõikides korterites on ventilatsioonisüsteemiks loomulik ventilatsioon ja mehaanilised köögikubud. Korterites hoitakse aknaid lahti peamiselt suvekuudel ning seda iga päev, kus peamiseks põhjuseks on liigne palavus ja värske õhu puudus. Talvekuudel tuulutab tube peamiselt hoone 3_1 ning seda üldjuhul enne magama minekut või kui korter on liiga soojaks köetud. Korterisiseseid vaheuksi hoiavad lahti peamiselt hoone 1 ja hoone 2 ning seda koduloomade tõttu.

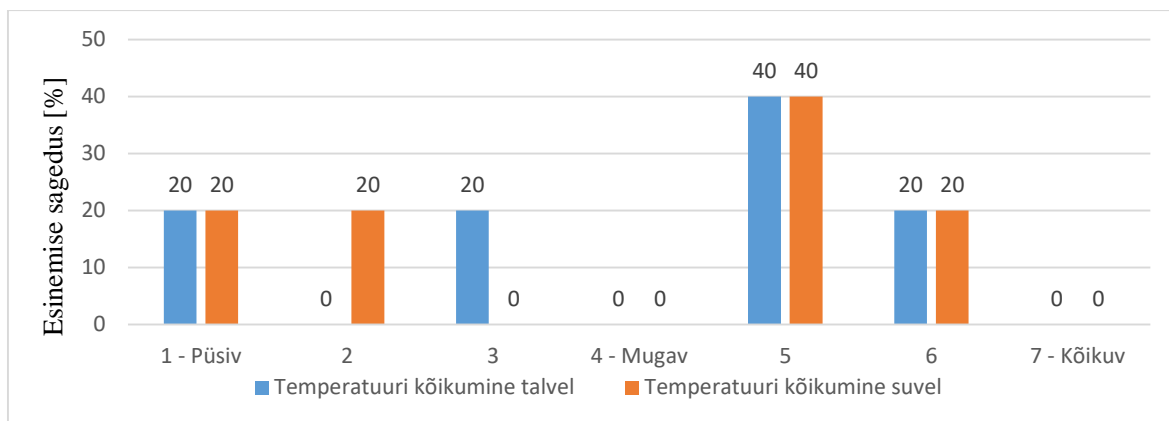
Põhiküttesüsteemina kasutavad kõik korterid puukütel ahikütet, kuid hoone 1 kasutab seda talvel, kui välistemperatuur langeb väga madalale (muul ajal kasutab gaasikütel põhinevaid radiaatoreid). Kahes korteris kasutatakse põhiküttesüsteemina ka õhksoojuspumpa. Abiküttesüsteemina kasutatakse elektriradiaatoreid ning kahes korteris on vannitubades põrandaküte.

Kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suurust hinnati 7 palli skaalal, kus küsiti probleemide esinevust ning esinemissagedust, mille hinnangud on välja toodud lisas 2. Jooniselt 39 on näha temperatuuride protsentuaalset jaotust. 60% vastanutest pidasid siseõhu temperatuuri talvel mugavaks ning 40% elanikest kalduvad natukene jahedama poole, kuid seejuures ei peeta temperatuuri liiga külmaks. Siseõhu temperatuuri suvel peavad 20% vastanutest liiga soojaks ning 20% vastanutest pigem jahedaks. 60% vastanutest peavad siseõhu temperatuuri suvel pigem mugavaks. Põrandate temperatuuriga talveperioodil ollaks pigem rahul.



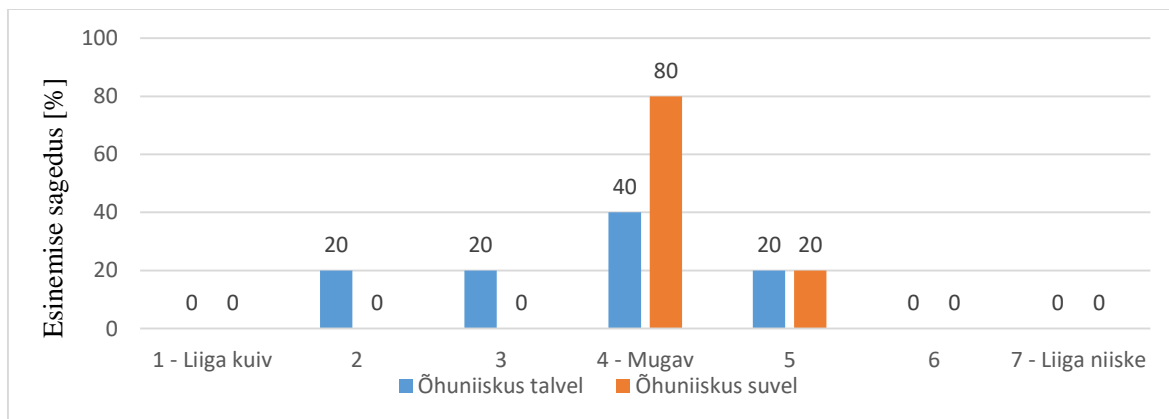
Joonis 39. Temperatuuride jaotus protsentuaalselt.

Jooniselt 40 on näha temperatuuride kõikumise protsentuaalset jaotust talvel ja suvel. 20% vastanutest ei kurda temperatuuri kõikumise üle nii suvel kui ka talvekuudel. 40% vastanute arvates esineb temperatuuri kõikumist vähesel määral ning 20% vastanute arvates esineb sagedamalt temperatuuri kõikumist nii talvel kui suvel.



Joonis 40. Temperatuuride kõikumise jaotus protsentuaalselt.

Jooniselt 41 on näha õhuniiskuse protsentuaalset jaotust talvel ja suvel. 40% elanikest peab talvekuudel ning 80% suvekuudel õhuniiskust mugavaks. 20% elanikest peab talvekuudel õhuniiskust pigem kuivaks. Ülejäänud elanike arvates on õhuniiskus nii talvel kui suvel rahuldav.



Joonis 41. Õhuniiskuse jaotus protsentuaalselt talve- ja suveperioodil.

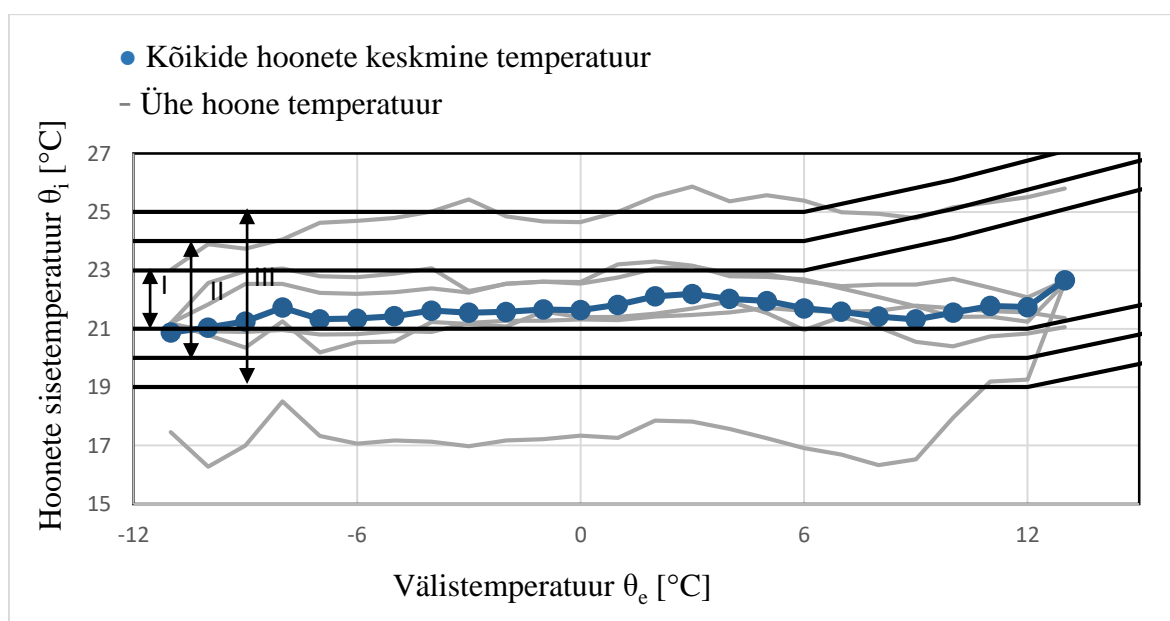
Ankeetküsitluse põhjal anti hinnang hoonete elanike tervisele. Tervisehäirete esinemist üldjuhul ei esinenud üheski korteris, kuid hoone 1 ja hoone 2 tõid välja mõnikord esinevat põhjendamatut väsimust ja kurgu kuivust. Nende probleemide põhjuseks võib pidada ebakvaliteetset ventilatsiooni ning kuiva sisekliimat.

Müraprobleeme esines hoones 1 ja hoones 3_2, kus läbi vahelagede kostub teise korteri heli. Helimüra levib läbi vahelagede löögimürana ja õhumürana, mis on põhjustatud ebakvaliteetsest sammumüra tõkkest ning ebatihedast konstruktsioonist.

3.3 Sisekliima parameetrid

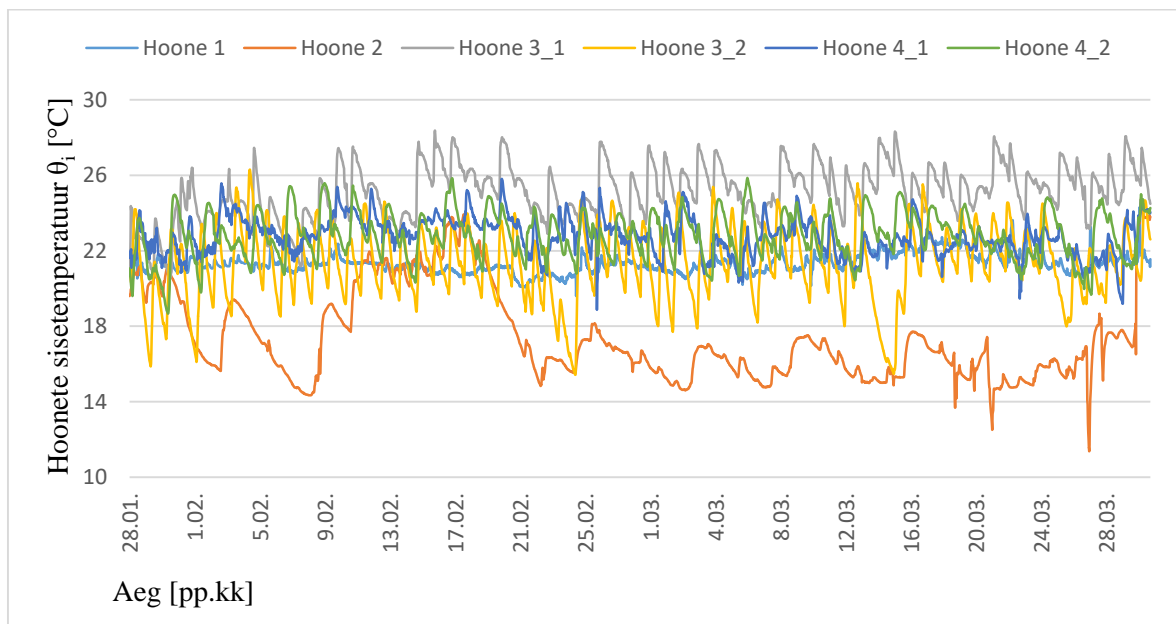
Hoonetes salvestati andmesalvestajaga Hobo U12-011 temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust ajavahemikul 25.01.2019 kuni 01.04.2019. Igal uuritavaal hoonel arvutati välistemperatuuri ühe kraadi kohta keskmine sisetemperatuur, mille abil saab määrata, mis sisekliima klassi kuulub vastav hoone. Välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati ka keskmine suhteline õhuniiskus ning niiskulisa. Välistemperatuuri ja välisõhu suhtelise õhuniiskuse muutuse graafikud mõõteperioodil on toodud lisas 3.

Jooniselt 42 on näha hoonete sisetemperatuuri seos välistemperatuuriga. Sisekliima mõõtmised toimusid talveperioodil, mil hoonetes oli kütteperiood. Kõikide hoonete keskmine siseõhu temperatuur oli 21,6°C ning kõikumised jäid vahemikku 16,3°C ja 25,9°C. Andmete töötlemise tulemusena selgus, et hoone 1 jääb esimesse sisekliima klassi. Hooned 3_2 ja 4 jäävad esimese ja teise sisekliima klassi piirile. Hoone 3_1 jääb kõrgete sisetemperatuuridega valdavalt kolmandasse sisekliima klassi, kuid osaliselt ka neljandasse klassi. Hoone 2 jääb neljandasse sisekliima klassi, kuid see võib olla tingitud remonditöödest ja sellest tulenevalt ebaregulaarsest kütteperioodist.



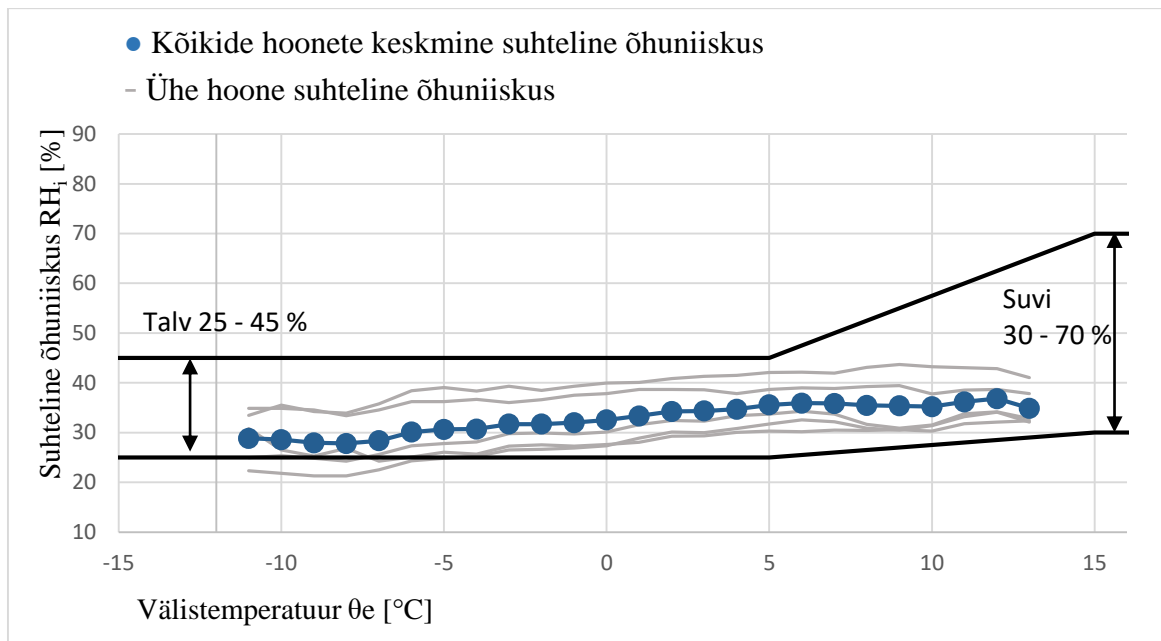
Joonis 42. Hoonete sisetemperatuuri seos välistemperatuuriga.

Sisetemperatuuri muutus ajas on kirjeldatud joonisl 43. Jooniselt on näha temperatuuri kõikumisi, mis on tingitud puukütte kasutamisest – küttekeha soojenemine ja jahtumine. Kõige stabiilsem temperatuur oli hoones 1, kus keskmine siseõhu temperatuur oli 21,3°C. Kõige madalam ja ebakorrapärasem temperatuuri kõikumine oli hoones 2, mis oli tingitud remonditöödest. Hoones 3_1 oli kõige kõrgem keskmine temperatuur, milleks oli 25,1°C.



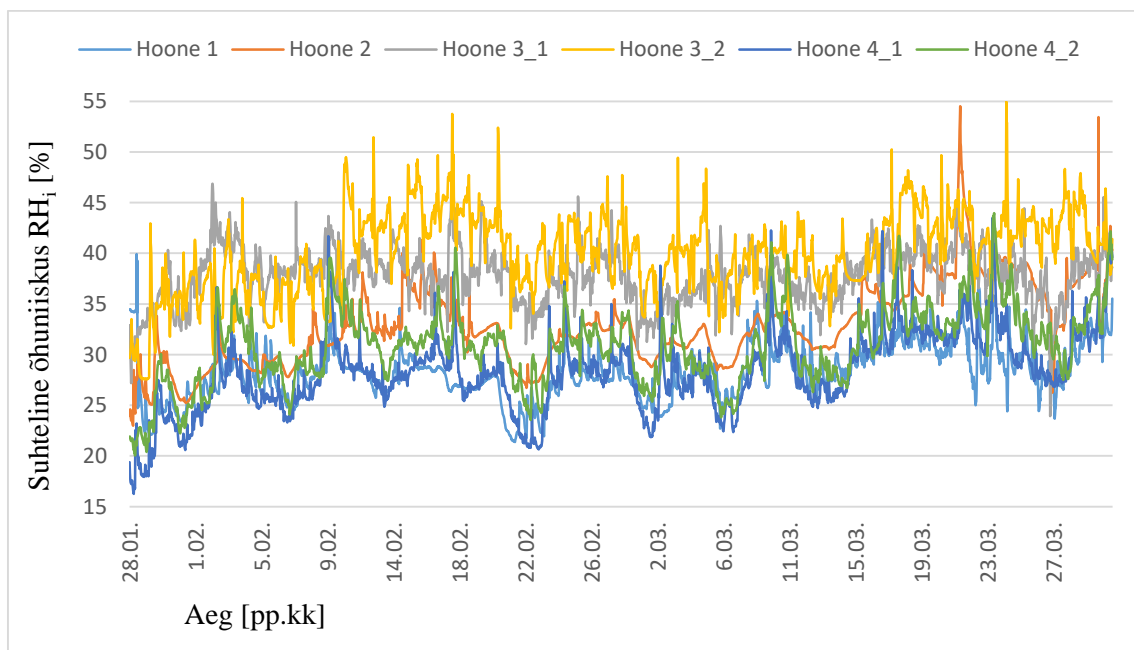
Joonis 43. Hoonete sisetemperatuuri muutus ajas.

Suhtelise õhuniiskuse sõltuvus välistemperatuurist on toodud joonisel 44. Uuritud hoonete keskmine suhteline õhuniiskus mõõteperioodil oli 32,8%. Suhteline õhuniiskus kõikus vahemikus 21,3% kuni 43,7%. Jooniselt on näha, et suhteline õhuniiskus jääb soovituslikku vahemikku, milleks on talvel 25-45% ja suvel 30-70%, kuid seejuures on märgata hoonete vahel erinevusi. Suhtelise õhuniiskuse erinevus on tingitud hooneelanike käitumisest (näiteks pesu kuivatamine toas, ruumide tuulutamine).



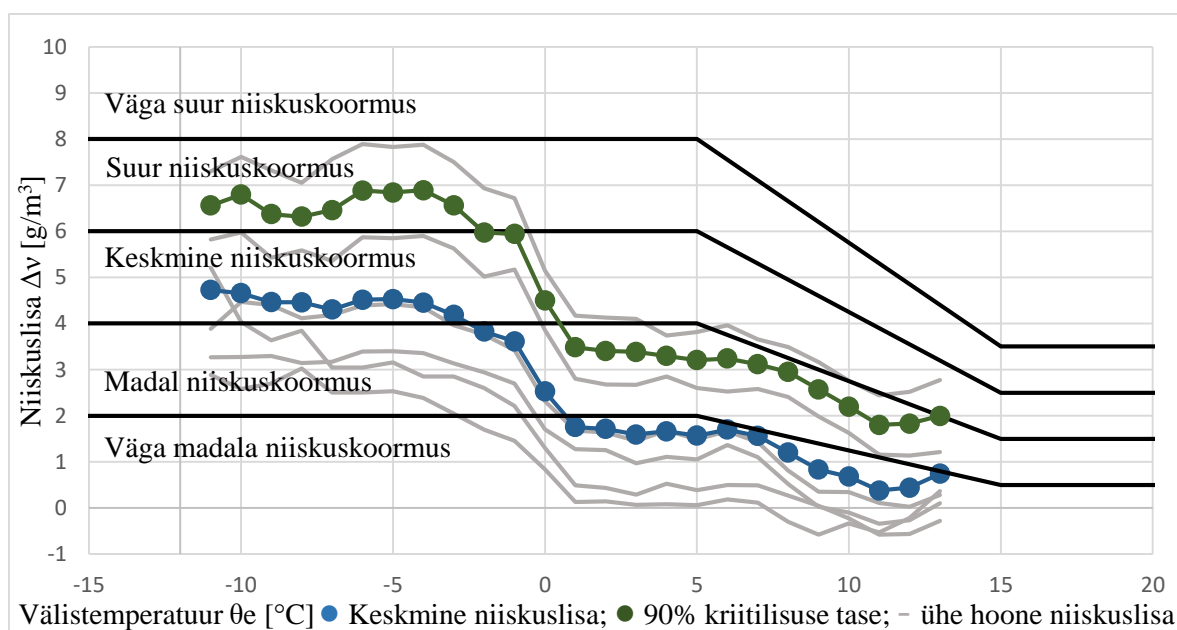
Joonis 44. Hoonete suhtelise õhuniiskuse sõltuvus välistemperatuuriga.

Hoonete suhtelise õhuniiskuse muutus ajas on kirjeldatud joonisel 45. Kõige madalam ning väiksem suhtelise õhuniiskuse kõikumine oli hoones 1, kus keskmine õhuniiskus mõõteperioodil oli 28,2%. Kõige kõrgem suhteline õhuniiskus oli hoones 3_2, kus keskmine õhuniiskus oli 40,0%.



Joonis 45. Hoonete suhtelise õhuniiskuse muutus ajas.

Hoonete niiskuselisa seos välistemperatuurist on toodud joonisel 46. Niiskuselisa kirjeldab sise- ja välisõhu veeaurusisalduste erinevust ning selle abil saab hinnata niiskuskooormuse suurust siseruumides. Niiskuskooormust mõjutavad elanike arv hoones, pesukuivatamine, toataimed, söögi tegemine ja ebakvaliteetne ventilatsioon. Niiskuselisa piirsuurusteks võetakse Targo Kalamehe doktoritöös arvatud piirsuurused Eesti elamute kohta, kuna need kirjeldavad Eesti elamuid paremini [31], võrreldes standardiga EVS-EN ISO 13788:2012 [14].



Joonis 46. Hoonete niiskuselisa seos välistemperatuuriga.

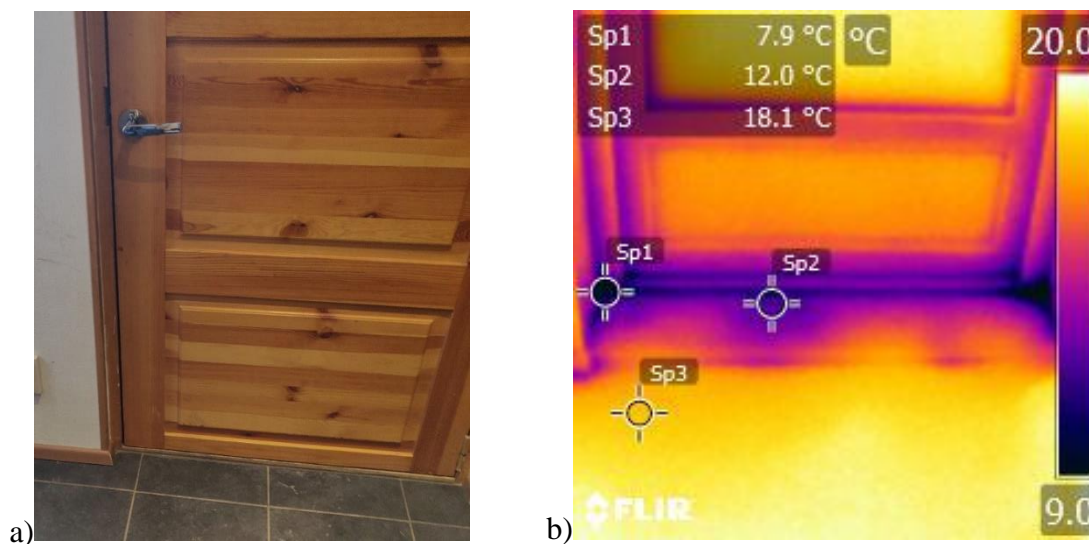
Uuritud hoonete keskmine niiskuselisa on $2,64 \text{ g/m}^3$ ning 90% kriitilisuse taseme keskmine väärtus on $4,50 \text{ g/m}^3$. Antud juhul võib niiskuselisa suurusest järeldada, et hoonetes on külmemal perioodil keskmine niiskuskooormus (temperatuur madalam kui 0°C) ning soojema välistemperatuuri korral langeb niiskuskooormus madala ja väga madala piirile.

3.4 Termograafia

Kõikides hoonetes viidi läbi hoonesisene termografeerimine. Termografeerimine viidi läbi kahes jaos: esmalt passiivses olukorras ning hiljem aktiivses olukorras (50Pa alarõhu olukorras). Seetõttu viidi termografeerimist läbi paralleelselt õhupidavus mõõtmisega. Termografeerimisel tuvastati külmasillad ja soojuslekkekohad, mis olid põhiliselt hoonete põranda ja seina nurgad, välisseinte liitekohad, välisseinte ja vahelagede liitekohad, läbiviigud välisseintes, avatäidete ümbrused, vahelagede ja katuste liitekohad ning kohad,

kus oli soojustus ära vajunud. Külmasildade kriitilisust hinnatakse temperatuuriindeksi arvutamiseks. Termopilte töödeldi tarkvaraga Flir Tools.

Joonisel 47 on näha termofotot hoone 1 välisuksest (tegemist topeltuksega, kus termofoto tehti välimisest uksest). Sarnased külmasillad esinevad kõikides uuritavate hoonete välisustel. Antud juhul oli näha, et uksetihend oli väga kulunud (probleemne kõikidel hoonetel) ning tõenäoliselt ei ole ukse paigaldamisel pööratud tähelepanu kvaliteetsele avatäite tihendamisele (tuule- ja aurutõkke paigaldamine, teipimine). Hoone ees oli ka betootrepp, kus arvatavasti on trepi ehitamisel jäetud trepi ja vundamendi vahele soojustus paigaldamata. Trepi ja vundamendi vahele peaks paigaldama soojustuse, et vältida sellist külmasilda.

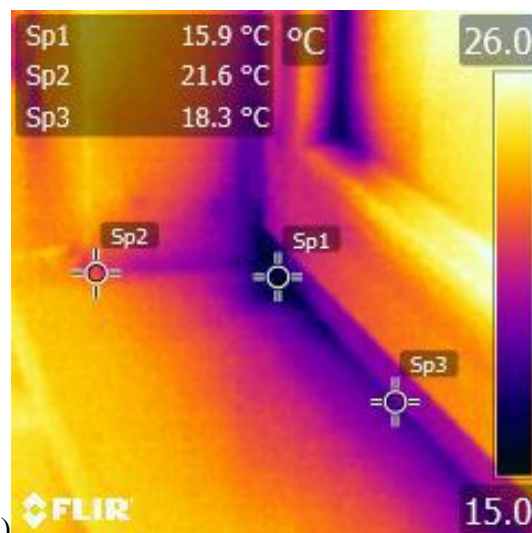


Joonis 47. Välisuks tavaolukorras: a) tavafoto ja b) termofoto.

Joonisel 48 on näha termofotot hoone 3_1 aknanurgast, kus on näha suurt temperatuuri langust kogu avatäite ümbruses, võrreldes sisetemperatuuriga. Madalamaid temperatuure akende ümbruses esineb kõikides uuritavates hoonetes. Kõikide hoonete akende juures oli näha kulunud aknatihendeid. Tõenäoliselt ei ole ka efektiivselt tihendatud akende ümbrused ning seetõttu esineb soojuslekkeid. Ka hoonete akende puhul, mis vahetati vähem kui viimase kümne aasta jooksul, esineb külmasildasid. Joonisel 49 on näha termofotot hoone 3_1 akna sulgemismehhanismi kulumist.

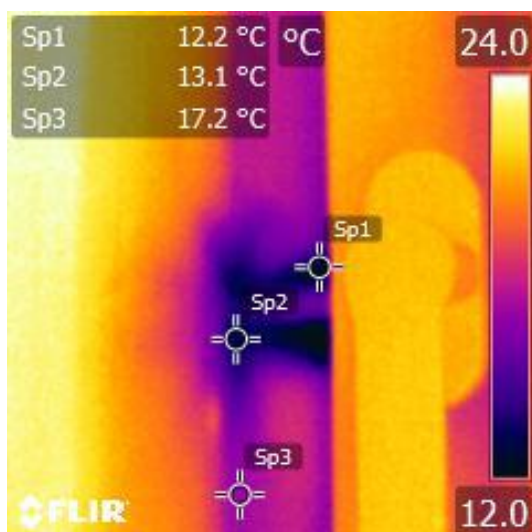


a)



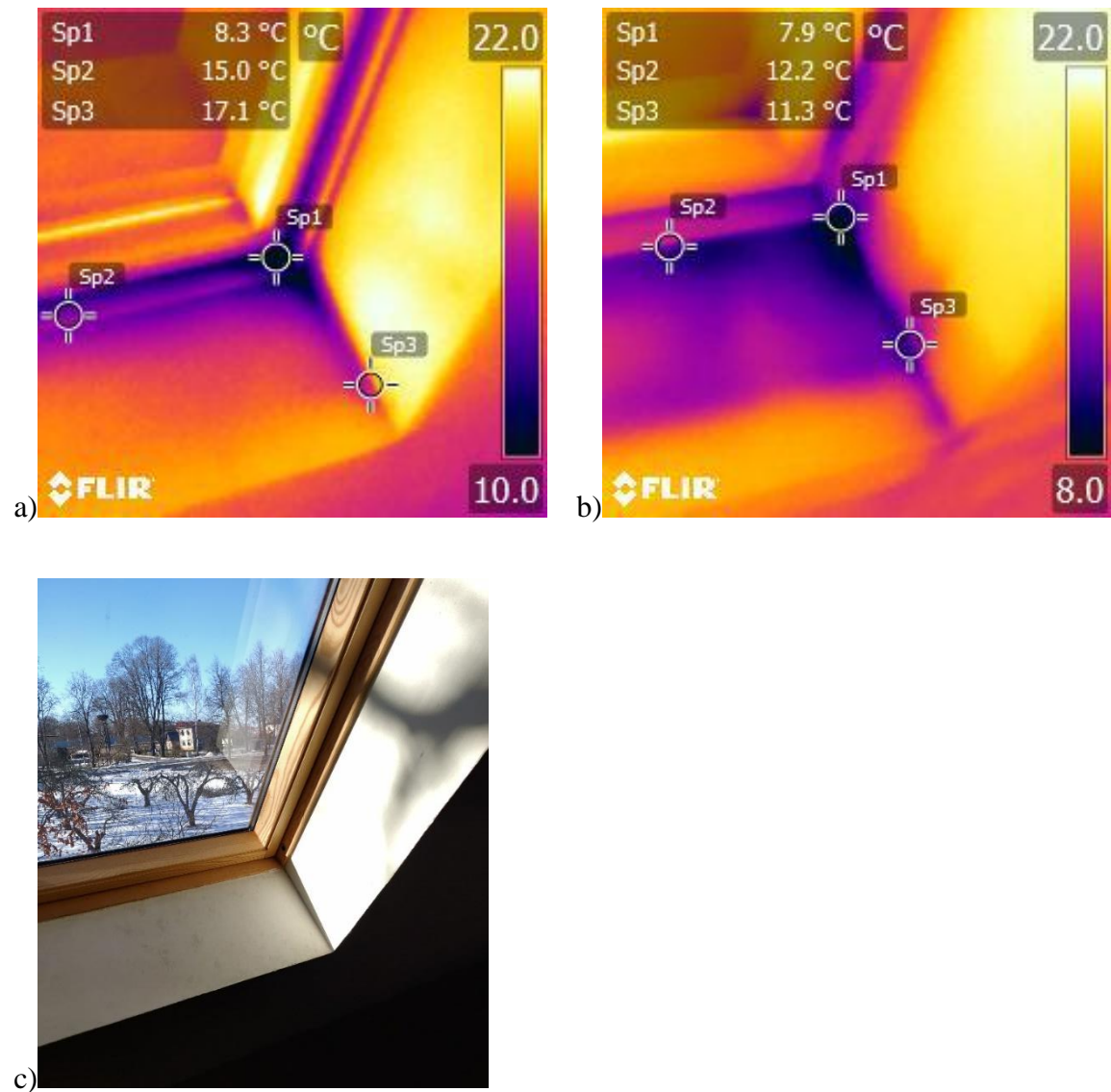
b)

Joonis 48. Aknanurk tavaolukorras: a) tavafoto ja b) termofoto.



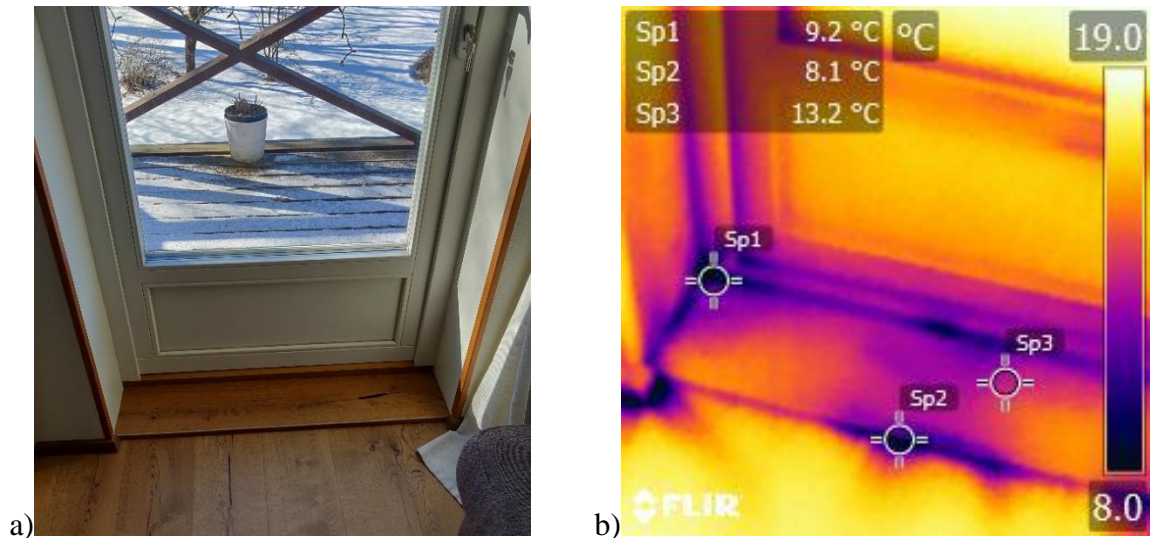
Joonis 49. Akna sulgemismehhanism alarõhu tingimustes.

Hoone 1 on ainukene uuritav hoone, millel on katuseaknad. Jooniselt 50 on näha termofotot katuseaknast tavaolukorras ja alarõhu tingimustes. Mõlemal juhul on näha märgatavalt suurt külmasilda, kusjuures alarõhu tingimustes on soojusleke suurem. Katuseakna paigaldus on oma olemuselt juba üsna keeruline ning seetõttu on raske saada väga head soojapidavust. Tuleb arvesse võtta, et sarikate vahele paigaldatud katuseakna tihendamine on keerukam ning sellest tulenevalt on antud hoonel külmasild ning soojuslekked.



Joonis 50. Katuseaken: a) termofoto tavaolukorras, b) termofoto alarõhu tingimustes, c) tavafoto.

Jooniselt 51 on näha termofotot hoone 1 rõduuksest alarõhu tingimustes. Võrreldes sisetemperatuuriga, oli rõduukse ümbrus küll mõne kraadi võrra jahedam, kuid alarõhu tingimustes on näha veel suuremat temperatuuri langust. Samuti on näha suuri soojalekke kohtasid, mis viitavad ebakvaliteetsele auru ja/ või tuuletõkke paigaldusele ning üleüldisele avaümbruse tihendamisele. Sedalaadi probleem esines ka hoonel 4.



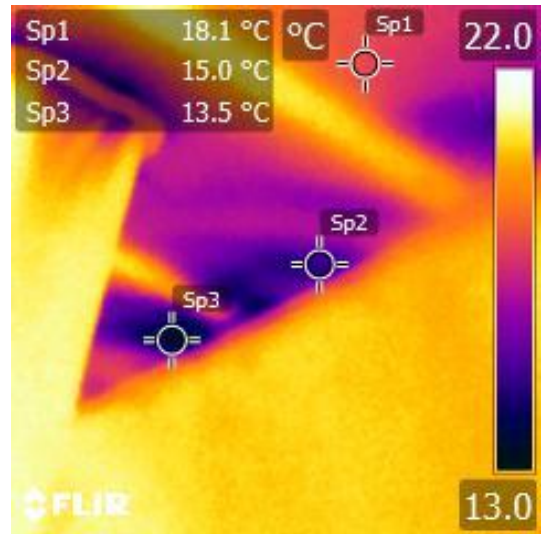
Joonis 51. Rõduuks alarõhu tingimustes: a) tavafoto ja b) termofoto.

Joonisel 52 on näha hoone 1 lae ja katuse liite termofotosid alarõhu tingimustes. Antud juhul tavaolukorras ei olnud märgatavat temperatuuri erinevust termografeerimisel – seda on ka näha, kuna laetalad on sama temperatuuriga, mis ülejäänud lae- ja seinakonstruktsioon. See aga tähendab, et liide on küll hea soojapidavusega, kuid väga suure õhulekkega. Sellest võib järeldada, et tegemist on ebakvaliteetselt paigaldatud aurutõkkekilega või ei ole pööratud tähelepanu selle paigaldamisele või puudub üldse. Seetõttu välispiirde konstruktsioon ei ole õhupidav. Samuti on jooniselt näha süvistatud laevalgustit, mis on tihendamata. Sarnane olukord esines ka hoonel 4, kus teisele korrusele ehitatud trepihall oli kaldlaega. Hoone 4 puhul oli märgata ka tavaolukorras madalamaid temperatuure konstruktsioonis. See viitab ebatõhusale soojustusmaterjali paigaldamisele või soojustusmaterjal on ajapikku ära vajunud.

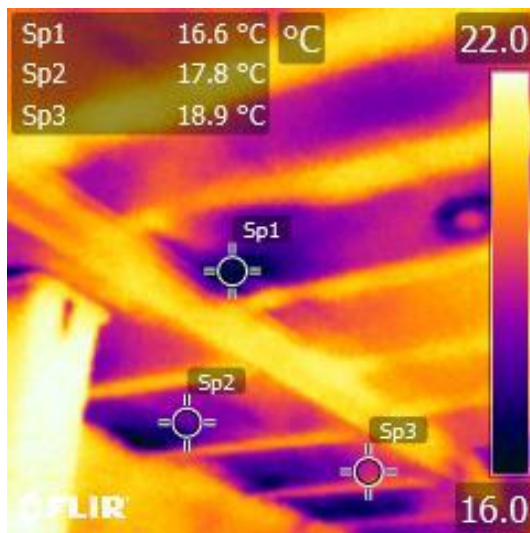
a)



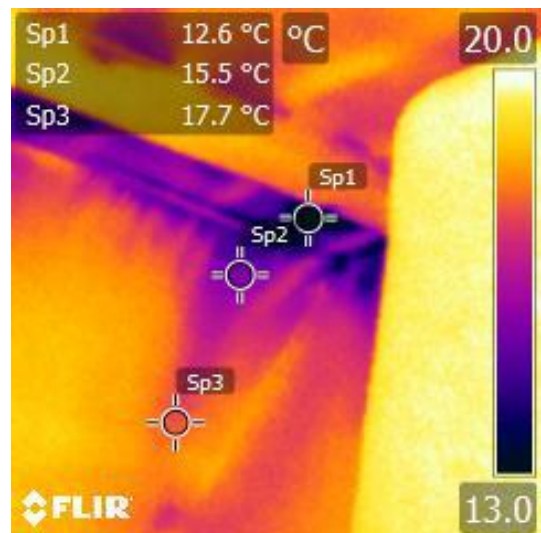
b)



c)



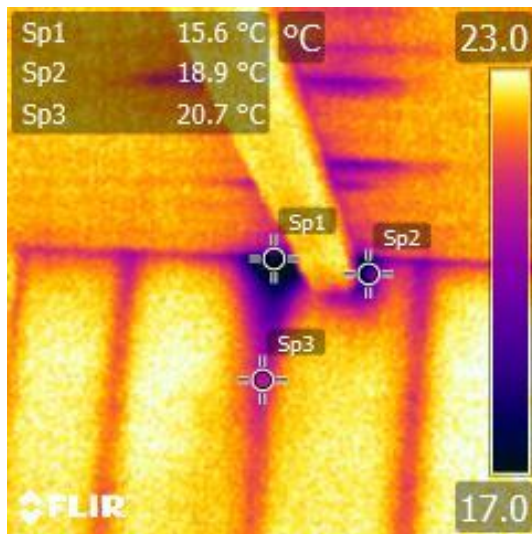
d)



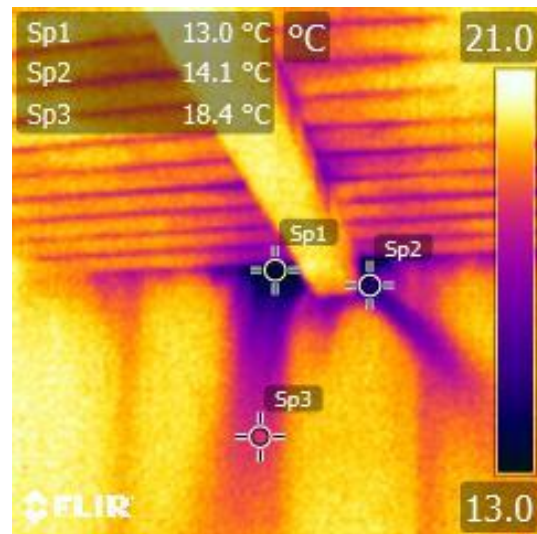
Joonis 52. Lae ja katuse liide: a) tavafoto ja b), c), d) termofoto alarõhu tingimustes.

Joonisel 53 on näha hoone 4 välisseina ja kahe korruse vahelise vahelae liite termofotot tavaolukorras ning alarõhu tingimustes. Joonistelt on näha, et esineb külmasild ning soojusleke. Seda võib põhjustada kehvasti paigaldatud või ära vajunud soojustus. Külmasild võib olla tingitud ka sellest, et vahelaetala ja seina liites on väga õhuke kiht soojustust. Samuti on ilmekalt näha karkassiposte, mis on väiksema soojapidavusega, kui soojustusmaterjal. Sarnaseid probleeme, kus välisseina ja vahelae liites oli külmasild, esines kõikidel hoonetel.

a)



b)

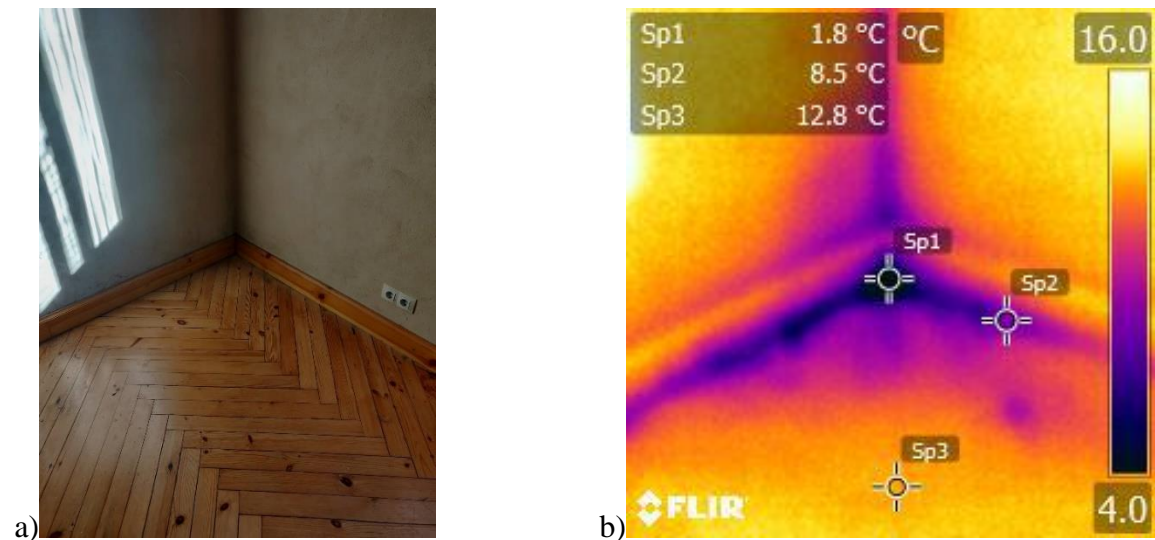


c)



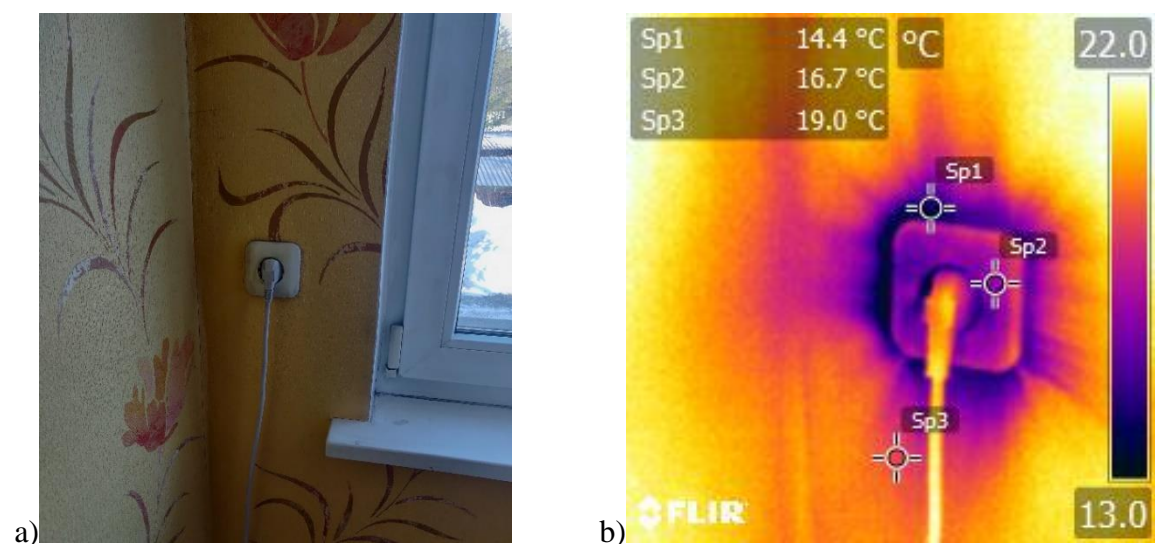
Joonis 53. Välisseina ja kahe korruse vahelise vahelae liide: a) termofoto tavaolukorras, b) termofoto alarõhu tingimustes ning c) tavafoto.

Joonisel 54 on näha hoone 2 välisseinte välisnurga ja põranda liite termofotot tavaolukorras. Tegemist on väga suure külmasillaga, mis on võimendatud fassadikahjustustest. Nurgaliide on üks enam levinud külmasildasid, kuna seda on väga keeruline saada soojapidavaks kandvate postide tõttu. Kuna nurgas on kandevpost, siis on raskendatud piisava soojustuskihi paigaldus. Kõikidel uuritavatel hoonetel esines probleemseid külmasildasid hoone nurkades.



Joonis 54. Välisseinte välisnurga ja põranda liide tavaolukorras: a) tavafoto ja b) termofoto.

Joonisel 55 on näha hoone 3_1 pistikupesa termofotot alarõhu tingimustes. Sarnaseid probleeme esines kõikidel hoonetel, kus erinevad süvistused väliskonstruksioonis (näiteks pistikud, laevalgustid, õhksoojuspumba torustik, ventilatsiooni õhuklapid) on jäänud tihendamata ning seetõttu esinesid soojuslekked.



Joonis 55. Pistikupesa alarõhu tingimustes: a) tavafoto ja b) termofoto.

Temperatuuriindeks arvutatakse valemiga 2.7, millega hinnatakse külmasildade kriitilisust. Pinnatemperatuurid võetakse termofotodelt, sisetemperatuur andmesalvestajaga salvestatud andmetest ning välistemperatuur välja paigaldatud andmesalvestajast. Temperatuuriindeksi arvutustulemused on kirjeldatud tabelis 7, kus arvutustes on kasutatud jooniseid 47 kuni 55.

Tabel 7. Temperatuuriindeksite arvutustulemused

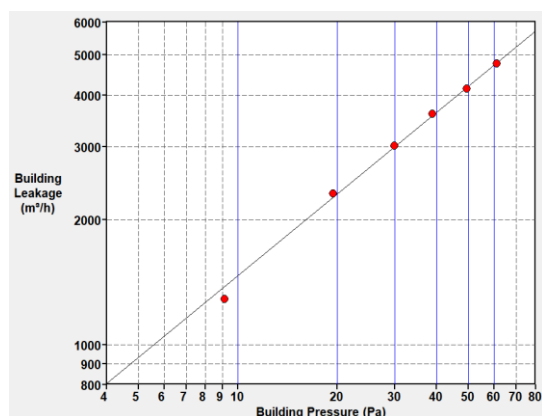
Joonise nr	Sisetempera- tuur t_i [°C]	Välis-temp- eratuur t_e [°C]	Ruumi suhteline õhuniiskus RH [%]	Pinnatemp- eratuur t_{si} [°C]	Temperatuuri- indeks f_{Rsi}
Termofotod tavaolukorras					
Joonis 47b	20,9	-4,2	25,9	Sp ₁ =7,90	0,48
				Sp ₂ =12,0	0,65
				Sp ₃ =18,1	0,89
Joonis 48b	24,5	-9,4	35,2	Sp ₁ =15,9	0,75
				Sp ₂ =21,6	0,91
				Sp ₃ =18,3	0,82
Joonis 50a	20,9	-4,2	25,9	Sp ₁ =8,30	0,50
				Sp ₂ =15,0	0,76
				Sp ₃ =17,1	0,85
Joonis 53a	21,7	-3,7	24,0	Sp ₁ =15,6	0,76
				Sp ₂ =18,9	0,89
				Sp ₃ =20,7	0,96
Joonis 54b	16,2	-9,8	29,2	Sp ₁ =1,80	0,45
				Sp ₂ =8,50	0,70
				Sp ₃ =12,8	0,87
Termofotod alarõhu tingimustes					
Joonis 49	24,5	-9,4	35,2	Sp ₁ =12,2	0,64
				Sp ₂ =13,1	0,66
				Sp ₃ =17,2	0,78
Joonis 50b	20,9	-4,2	25,9	Sp ₁ =7,90	0,48
				Sp ₂ =12,2	0,65
				Sp ₃ =11,3	0,62
Joonis 51b	20,8	-4,2	25,9	Sp ₁ =9,20	0,54
				Sp ₂ =8,10	0,49
				Sp ₃ =13,2	0,70
Joonis 52b	20,8	-4,2	25,9	Sp ₁ =18,1	0,89
				Sp ₂ =15,0	0,77
				Sp ₃ =13,5	0,71
Joonis 52c	20,8	-4,3	30,1	Sp ₁ =16,6	0,83
				Sp ₂ =17,8	0,88
				Sp ₃ =18,9	0,92
Joonis 52d	20,8	-4,3	30,1	Sp ₁ =12,6	0,67
				Sp ₂ =15,5	0,79
				Sp ₃ =17,7	0,88
Joonis 53b	21,7	-3,7	24,0	Sp ₁ =13,0	0,66
				Sp ₂ =14,1	0,70
				Sp ₃ =18,4	0,87
Joonis 55b	24,5	-9,4	35,2	Sp ₁ =14,4	0,70
				Sp ₂ =16,7	0,77
				Sp ₃ =19,0	0,84

Kondenseerumise vältimiseks peab olema temperatuuriindeks $f_{Rsi} \geq 0,70$ ning hallituse tekke vältimiseks $f_{Rsi} \geq 0,80$ [20]. Tavaolukorras tehtud termofotode temperatuuriindeksitest 26,7% on väiksemad kui 0,70 ning 53,4% on väiksemad kui 0,80. Selle põhjal võib järeldada, et on mõõdukas oht kondenssaadi tekkeks ning võrdlemisi suur oht hallituse tekkeks. Alarõhu tingimustes tehtud termofotodel arvatatud temperatuuriindeksitest 37,5% on väiksemad kui 0,70 ning 70,8% on väiksemad kui 0,80. Siit võib järeldada, et on väga suur oht hallituse tekkeks.

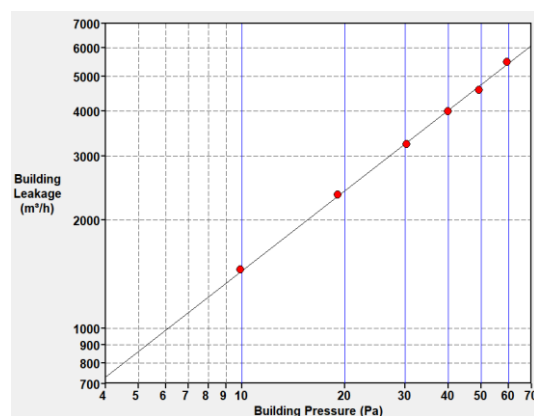
3.5 Piirete õhupidavus

Hoone piirete õhupidavus määrati mõõteseadmega BlowerDoor, kus kasutati seadme ventilaatorit, millega survestati hoone ja tekitati rõhkude erinevus. Mõõtmiste läbiviimisel tekitati hoonetesse 50Pa suurune üle- ja alarõhk ning fikseeriti õhulekke suurus. Joonisel 56 on näitena välja toodud ühe hoone õhulekke suuruste graafik. Õhupidavus mõõdeti kõikides välja valitud korterites, kusjuures tuleb arvesse võtta, et mõõtmistulemusi mõjutavad korterite vahelised vaheseinad, kus võivad olla ebatihedused soojustusmaterjalis ja võib esineda erinevaid läbiviike.

a)



b)



Joonis 56. Hoone 1: a) alarõhu- ja b) ülerõhu õhulekke graafikud; (building leakage – hoone õhuleke, building pressure – hoone rõhk).

Kõikide korterite ruumid mõõdeti üle laserkaugusmõõdikuga, kuna õhuvahetuskordsus ning õhulekkearv on seoses ruumide mõõtmetega. Ruumide mõõtudega arvutati korteritevaheliste ja välisseinte, põrandate ning lagede pindala ja korterite kubatuur. Korterite ruumide mõõdud on toodud tabelis 8.

Tabel 8. Mõõdetud korterite pindalad ja ruumalad

Hoone kood	Ruumide mõõdetud põranda pindala [m ²]	Ruumide mõõdetud ruumala [m ³]	Ruumide mõõdetud piirete pindala [m ²]
Hoone 1	111,8	276,9	341,3
Hoone 2	76,0	211,5	286,0
Hoone 3_1	43,4	117,7	166,6
Hoone 3_2	29,3	73,5	113,6
Hoone 4	96,8	245,4	248,2

Hoonete õhupidavuse mõõtmistulemused on toodud tabelis 9, mis on väljendatud kolme parameetri abil:

- v_{50} [m³/h], õhulekke suurus 50Pa juures, mis kirjeldab õhulekke vooluhulka 50Pa juures läbi hoonepiirete;
- n_{50} [h⁻¹], õhuvahetuskordsus 50Pa juures, mis kirjeldab õhulekke suurust 50Pa juures jaotatuna hoone kubatuurile;
- q_{50} [m³/(h·m²)], õhulekkearv 50Pa juures, mis kirjeldab õhulekke suurust 50Pa juures jaotatuna hoone piirdetarindite pindalale, milleks on välis- ja korteritevahelised seinad, vahe- ja pööninglaed ning põrandad.

Tabel 9. Korterite õhupidavuse mõõtmistulemused

Hoone kood	Õhulekke suurus 50Pa juures, v_{50} [m ³ /h]		Õhuvahetuskordsus 50Pa juures, n_{50} [h ⁻¹]		Õhulekkearv 50Pa juures, q_{50} [m ³ /(h·m ²)]	
	Alarõhk	Ülerõhk	Alarõhk	Ülerõhk	Alarõhk	Ülerõhk
Hoone 1	4206	4752	15,19	17,16	12,32	13,92
Hoone 2	4429	4970	20,94	23,50	15,48	17,38
Hoone 3_1	361	382	3,07	3,25	2,17	2,29
Hoone 3_2	746	817	10,15	11,11	6,57	7,19
Hoone 4	5757	5496	23,46	22,14	23,19	22,40

Korterites mõõdetud keskmine õhulekke v_{50} suurus alarõhu tingimustes on 3100 m³/h, keskmine õhuvahetuskordsus n_{50} on 14,56 h⁻¹ ning keskmine õhulekkearv q_{50} on 11,95 m³/(h·m²). Ülerõhu tingimustes mõõdetud keskmine õhulekke v_{50} suurus on 3273 m³/h, keskmine õhuvahetuskordsus n_{50} on 15,43 h⁻¹ ning keskmine õhulekkearv q_{50} on 12,64 m³/(h·m²).

Kõige madalamate mõõtmistulemustega alarõhu juures on hoone 3_1, mille õhulekke suurus on 361 m³/h, õhuvahetuskordsus 3,07 h⁻¹ ja õhulekkearv 2,17 m³/(h·m²). Hoone 3_1

õhupidavuse mõõtmistulemused on tõenäoliselt madalad seetõttu, et 90. aastatel tegi korteriomaniik remonti, kus paigaldas seintele kipsikihi ning avatäidete vahetamisel kohendas avatäidete ümbruses soojustust. Kõige kõrgemate tulemustega alarõhu tingimuste juures on hoone 4, millel on õhulekke suurus $5757 \text{ m}^3/\text{h}$, õhuvahetuskordsus $23,46 \text{ h}^{-1}$ ning õhulekkearv $23,19 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Hoone 4 kõrged mõõtmistulemused on tingitud sellest, et korter on kokku ehitatud kolmest korterist ja läbib kahte korrust. Samuti on õhuvahetuskordsus ning õhulekkearv peaaegu sama suured, sest korteri kubatuur ja välispiirete perimeetri pindala on mahult sarnased.

Hoone välispiirete õhulekkearvu q_{50} baasväärtused [30] on toodud tabelis 10.

Tabel 10. Hoone õhulekkearvu baasväärtused [30]

Kasutusotstarve	Õhulekkearvu q_{50} baasväärtused [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]	
	Uus hoone, oluline rekonstrueerimine	Rekonstrueerimine, olemasolev hoone
Väikeelamu	4,0	6,0
Muu hoone	2,5	4,0

Uute väikeelamute/ olulise rekonstrueerimise puhul on lubatud õhulekkearv $4,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ning olemasolevate hoonete rekonstrueerimisel $6,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Selle põhjal võib öelda, et hoone 3_1 õhupidavuse tulemused on suurepärased. Hoone 3_2 mõõtetulemused ületavad pisut lubatud normi, kuid tulemus on hoone eeskohta väga hea. Hoone 1, 2 ja 4 ei jää hetkel kehtivate normide piiridesse.

4. HOONETE RENOVEERIMISE VÕIMALUSED

Uuritud hoonete ehitustehnilise seisukorra hindamise, termografeerimise, sisekliima ning õhupidavuse mõõtmistulemusena selgus, et hoonetel esineb kahjustusi ja probleeme. Seetõttu pakutakse uuritud hoonetele renoveerimisvõimalusi, et parandada piirdekonstruksioonide soojapidavust ning tagada elanikele mugavam ja tervislikum sisekliima. Hoonetel arvutatakse piirete soojusläbivused ning pakutakse lisasoojustuse võimalusi ning kontrollitakse niiskustehnilist toimivust. Lisaks sellele soovitatakse lahendusi hoonete seisukorra hindamisel tuvastatud kahjustuste ning vigastuste likvideerimiseks.

Uuritud hoonete konstruktsioonide puhul on tegemist esimeses peatükis kirjeldatud enamlevinud tüüpkonstruktsioonidega, mis levisid Eesti Vabariigis enne 1940. aastat ning seetõttu saab rakendada välja pakutavaid renoveerimisvõimalusi sarnaste tüüpkonstruktsioonidega hoonetele. Seejuures aga tuleb renoveerimisel arvestada, et igat hoonet käsitletakse eraldiseisva üksusena ning arvestatakse hoonest tulenevaid eripärasusi.

4.1. Uuritud hoonete piirdetarindite arvutuslik soojusläbivus

Hoonete välispiirete soojusläbivuse arvutamisel kasutatakse veebipõhist tarkvara Ubakus (varasemalt U-Wert), mille tulemusena saab analüüsida lisaks soojusläbivusele niiskustehnilist toimivust [32]. Seejuures tuleb arvestada, et tegemist on arvutuslike soojusläbivustega ning reaalses olukorras võib esineda halvemate väärtustega soojusläbivust, kuna seintes võib olla soojustuskiht ära vajunud või ehitustöödest tulenevalt ebakvaliteetselt paigaldatud. Soojustuskihi paigaldamisel seintes võib esineda täitematerjali ebaühtlast tihendamist ning põrandatel ja pööningutel võib olla konstruktsiooni ulatuses erinevusi täitematerjali kihi paksuses. Samuti ei avatud välispiirde konstruktsioone ning sellest tulenevalt võib esineda väiksemaid hälbeid konstruktsioonelementide paksustes – see tähendab, et seinte ja katuslagede paksus on üle mõõdetud, kuid kihid võivad erineda.

Niiskustehnilise toimivuse arvutamisel kasutatakse standardi EVS-EN ISO 13788:2012 teatmelisa NA, mis lähtub Eesti kliimatingimustest ning annab soovitusi arvutusteks

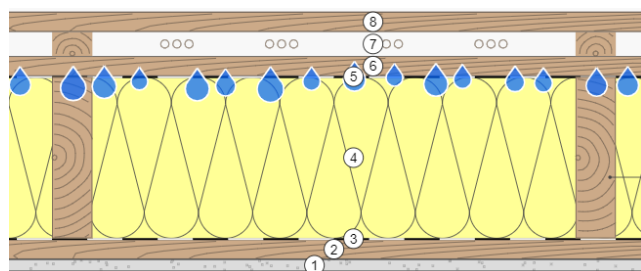
vastavalt asukohale. Standardist võetakse välisõhu temperatuuriks $-7,7^{\circ}\text{C}$, välisõhu suhteliseks õhuniiskuseks 85% ning siseõhu temperatuuriks 21°C . [14]

Välisseinte soojuslähivuste arvutamiseks on võetud materjalide soojuseriivtiivused raamatust „Ehituskonstruktori käsiraamat“ [35] ning standardist EVS 908-1:2016 [36].

Uuritud hoonete arvutuslikud välisseinte soojuslähivused ja kondensaadi kogused on toodud tabelis 11. Hoonete keskmine välisseinte soojuslähivus on $0,57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Olemasoleval konstruktsioonil on arvutuslik keskmine kondensaadi kogus $0,42 \text{ kg}/\text{m}^2$ – see tähendab, et 90 päeva jooksul sisestatud kliimatingimuste korral tekib selline kogus kondensaati, peamiselt soojustuse ja tõrvapapi vahele. Arvutuslik kondensaadi kogus tekib seetõttu, et tänapäevased normid ja standardid on karmimate nõuetega, kui nõuded, mis olid hoonete ehitamisaegsel perioodil. Reaalses olukorras kondensaati ei teki ja see absorbeerub vastavasse materjali. Jooniselt 57, 58 ja 59 on näha hoonete välisseinte lõikejooniseid.

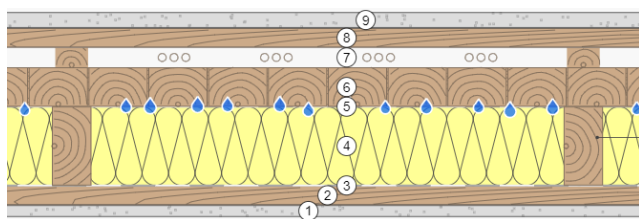
Tabel 11. Hoonete välisseina arvutuslikud soojuslähivused ja kondensaadi kogus

Hoone kood	Välisseina paksus [mm]	Välisseina soojuslähivus [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	Kondensaadi kogus välisseinas [kg/m^2]
Hoone 1	322	0,43	0,47
Hoone 2	260	0,59	0,31
Hoone 3	217	0,62	0,44
Hoone 4	217	0,62	0,44



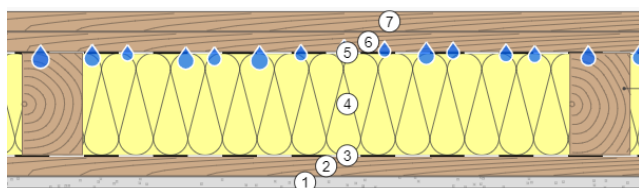
- 1 – sisekrohv 15mm
- 2 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 3 – ehituspaber
- 4 – urbne täidis 200mm, karkassipost 75x200mm s600
- 5 – tõrvapapp
- 6 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 7 – distantслиist 30mm s600
- 8 – horisontaalne voodrilaud 25mm

Joonis 57. Hoone 1 välisseina lõige [32].



- 1 – sisekrohv 15mm
- 2 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 3 – ehituspaber
- 4 – urbne täidis 100mm,
karkassipost 50x100mm s600
- 5 – tõrvapapp
- 6 – planksein 50x75 plankudega
- 7 – distantслиist 25mm s600
- 8 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 9 – väliskrohv 15mm

Joonis 58. Hoone 2 välisseina lõige [32].



- 1 – sisekrohv 15mm
- 2 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 3 – ehituspaber
- 4 – urbne täidis 125mm,
karkassipost 125x75 s600
- 5 – tõrvapapp
- 6 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 7 – vertikaalne voodrilaud 25mm

Joonis 59. Hoone 3 ja 4 välisseina lõige [32].

Hoonete põrandate ning katuse soojusläbivust on ilma konstruktsioone avamata keerulisem arvutada. Seetõttu on need väga hinnangulised ja võivad erineda reaalsest olukorrast. Mõõdetud keskmine katuselae paksus oli ca 280 mm, mille tulemusena on arvutuslik soojusläbivus $0,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Hoones 1 oli paigaldatud pööningule lisasoojustus puistevillana, mis tegi konstruktsiooni paksuseks ca 500 mm ning selle tulemusena on arvutuslik soojusläbivus $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Põrandate soojusläbivuse arvutuseks tuleks konstruktsioon avada ning vastavalt olukorrale arvutada väärtused, mida antud lõputöös ei käsitleta.

4.2. Uuritud hoonete piirdetarindite lisasoojustamine

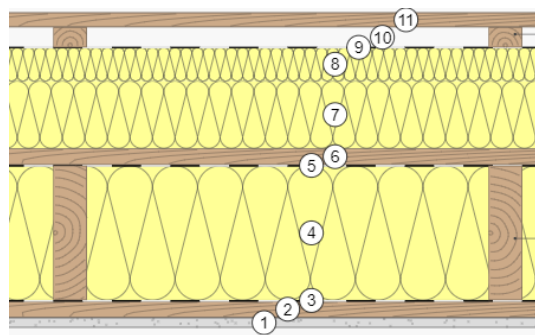
Hoonete piirdetarindite lisasoojustamisel võetakse aluseks vabariigi valitsuse määrusega nr 63 kehtestatud hoone energiatõhususe miinimumnõuded [33]. Määrusega esitatakse välispiiretele nõudeks piisav soojustus, mis tagaks energiatõhususe ning ruumi soojusliku mugavuse. Kuna antud määruses ei ole esitatud piirdetarinditele soovituslikke soojusläbivuse väärtuseid, lähtutakse arvutustes vabariigi valitsuse määrusega nr 55 kehtestatud hoone energiatõhususe miinimumnõuetest, mis jõustus 01.07.2015 ning lõpetas kehtivuse 31.12.2018 [34].

Hoone energiatõhususe miinimumnõuetega esitatakse välispiiretele järgmised soojuslähivuse soovituslikud väärtused: välisseina soojuslähivus 0,12 – 0,22 W/(m²·K); katuse ja põranda soojuslähivus 0,1 – 0,15 W/(m²·K) ning akna ja ukse soojuslähivus 0,6 – 1,1 W/(m²·K). [34]

Hoone välispiirete lisasoojustamise arvutamisel kasutatakse veebipõhist tarkvara Ubakus [32]. Tabelis 12 on toodud uuritud hoonete välisseinte paksused ning soojuslähivused lisasoojustuse korral. Kõikide hoonete konstruktsioonide puhul on lisatud 150 mm paksune soojustuskiht ning selle tulemusena on keskmine välisseina soojuslähivus 0,175 W/(m²·K), mis jääb soovituslike energiatõhususe miinimumnõuete piiridesse. Välisvoodrilaudisega konstruktsioonide puhul on ka oluline, et paigaldatakse tuuletõkkeplaat, et tagada parem hoone õhupidavus. Hoone 2 konstruktsiooni lisasoojustamisel tuleb eemaldada krohvikihit ning õhkvahe, kuna vastaseljuhul uued kihid ei tööta soojustusena. Joonisel 60, 61 ja 62 on kirjeldatud uuritud hoonete seinakonstruktsioonide lõiked lisasoojustusega, mille juures ei tekkinud arvutuslikku kondensaati.

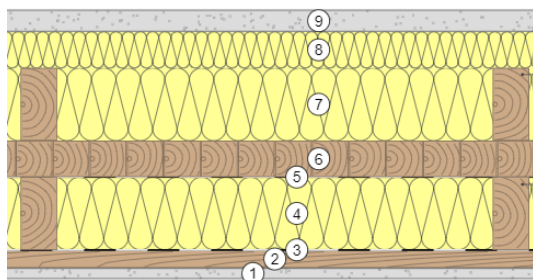
Tabel 12. Hoonete välisseina arvutuslikud soojuslähivused lisasoojustuse korral.

Hoone kood	Välisseina paksus [mm]	Välisseina soojuslähivus [W/(m ² ·K)]
Hoone 1	469	0,16
Hoone 2	440	0,18
Hoone 3	394	0,18
Hoone 4	394	0,18



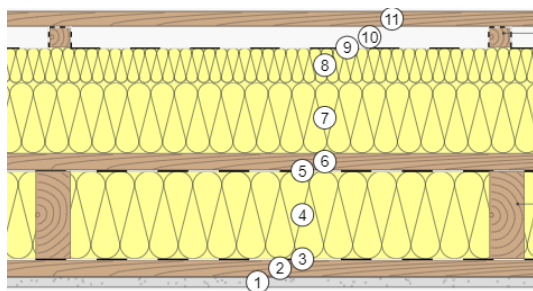
- 1 – sisekrohv 15mm
- 2 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 3 – ehituspaber
- 4 – urbne täidis 200mm, karkassipost 75x200mm s600
- 5 – tõrvapapp
- 6 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 7 – mineraalvill 100mm, horisontaalne karkass 50x100mm s600
- 8 – tuuletõkkeplaat 50mm
- 9 – tuuletõkkekangas
- 10 – distantsliist 25mm s600
- 11 – horisontaalne voodrilaud 25mm

Joonis 60. Hoone 1 välisseina lõige lisasoojustusega [32].



- 1 – sisekrohv 15mm
- 2 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 3 – ehituspaber
- 4 – urbne täidis 100mm,
karkassipost 50x100 s600
- 5 – tõrvapapp
- 6 – planksein 50x75 plankudega
- 7 – kivivill 100mm,
karkassipost 50x100 s600
- 8 – jäik kivivillaplaat 50mm
- 9 – väliskrohv 30mm

Joonis 61. Hoone 2 välisseina lõige lisasoojustusega [32].



- 1 – sisekrohv 15mm
- 2 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 3 – ehituspaber
- 4 – urbne täidis 125mm,
karkassipost 125x75 s600
- 5 – tõrvapapp
- 6 – horisontaalne voodrilaud 25mm
- 7 – mineraalvill 100mm,
horisontaalne karkass 50x100 s600
- 8 – tuuletõkkeplaat 50mm
- 9 – tuuletõkkekanas
- 10 – distantслиist 25mm s600
- 11 – horisontaalne voodrilaud 25mm

Joonis 62. Hoone 3 ja 4 välisseina lõige lisasoojustusega [32].

Soojustuskiht, paksusega 150 mm (mineraalvill koos tuuletõkkeplaadiga) andis keskmiseks soojuslähivuseks $0,175 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kuid suurendades mineraalvilla kihi paksust, saab veelgi parema soojuslähivuse väärtuse. Suurendades antud välisseinte tarinditel mineraalvilla kihti 150 mm paksusele, saab keskmiseks soojuslähivuse väärtuseks $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ning suurendades 200 mm paksusele, tuleb keskmiseks soojuslähivuseks $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Vahelagede soojuslähivuse parandamiseks on kõige lihtsam viis puistevilla paigaldamine, kus 250 mm paksune puistevilla lisasoojustuskiht annab lae arvutuslikuks soojuslähivuseks $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, mis jääb samuti soovituslike hoone energiatõhususe miinimumnõuete piiridesse.

4.3. Soovitused uuritud hoonete seisukorra parandamiseks

Hoonete renoveerimistöid tuleks alustada vundamendist. Kogu hoone perimeetril tuleks lahti kaevata vundamendi ja sokli osa, mis annab hea võimaluse põhjalikult üle vaadata vundamendi seisukorra. Seejärel tuleks vundament puhastada pinnasest ning eemaldada kulunud krohv ja lahtised vundamendi osad ning vajadusel teha kohtparandusi tasanduskrohviga. Vundamendile tuleks paigaldada niiskuskindel soojustus (näiteks XPS isolatsioonimaterjal) ja seejärel paigaldada viimistluskiht (krohv või tsementkiudplaat) ning veelaud. Samuti oleks otstarvekas paigaldada drenaaž, mis tuleks paigaldada madalamale kui külmumispärr. Hoonetel, kus sokli kõrgus on väga madal, tuleks paigaldada hoone perimeetrile sillutisriba vee eemale juhtimiseks.

Fassaaditöödega tuleks alustada pärast vundamenditööd ning seejuures oleks oluline teha konstruktsioonidele põhjalik inspeksioon. Voodrilaudade eemaldamise järel saab kontrollida kandekonstruktsiooni ning vajadusel eemaldada ja asendada kahjustunud osad. Olemasolevate konstruktsioonide soojuslähivused ning lisasoojustuse kihid on kirjeldatud peatükkides 4.1 ja 4.2. Viilkatustega hoonete puhul on oluline, et pikendatakse ka sarikaid, kuna vastasel korral lisasoojustuse paigaldamisel jääb räasta osa väga lühikeseks. Räasta kaugus seinast peaks olema vähemalt 400mm, et vältida vihma valgumist seinale ning koos tuule mõjuga konstruktsiooni osadesse imbumast.

Enne katuslagede lisasoojustamist tuleks põhjalikult kontrollida katusekonstruktsioone ning tuvastatud vead likvideerida. Uuritud hoonetel tuvastatud probleemid, milleks olid pilud katusekattematerjalis, puuduv aurutõke ning n-ö katuse lainetamine (tingitud kahjustunud sarikatest või pärlist), tuleks alustada nende parandamisega. Katuse vigastatud kandekonstruktsioon tuleks välja vahetada ning seejärel korrastada katusekattematerjal. Hoone 1 puhul tuleks kõrvaldada pilud katusekattematerjalis. Hooned 3 ja 4 peaksid välja vahetama eterniitkatuse, kuna tegemist on mürgist asbesti sisaldava materjaliga. Eterniitkatusel esines ka mitmeid läbistusi, mis soodustavad niiskuskahjustuste teket. Hoone 2 pööningu lisasoojustamisel tuleks kindlasti paigaldada aurutõke, kuna hetkeolukorras kondenseerub veeaur plekist katusekattematerjalile ja roovidele.

Hooned, kus on väga vanad ning kulunud avatäited, peaks need vahetama tänapäevaste nõuetele vastavate avatäidete vastu. Avatäidete soojusläbivus peaks jääma vahemikku 0,6 – 1,1 W/(m²·K) [34], et tagada hea soojapidavus. Samuti annab uute avatäidete paigaldamine võimaluse korrektselt tihendada avatäidete ümbrused. Avatäidete ümbrusesse tuleks paigaldada villaribad ning tihendada teibiga, et tagada hoone avatäidete õhu- ja aurupidavus ning vältida külmasilda.

Kuna lisasoojustamine tagab hoonetel parema õhu- ja soojapidavuse, siis on ka oluline paigaldada tasakaalustatud soojustagastusega ventilatsiooniseade. Soojustagastusega ventilatsiooniseade tagab hoonele värske ja filtreeritud õhu, seejuures olles ka energiatõhus. Sellega vähendatakse hoones niiskuskooormust ning tagatakse tervislikum ja mugavam sisekliima.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös uuriti nelja puitkarkasselamut, mis on ehitatud Eesti Vabariigi perioodil, aastatel 1918–1940. Hoonete juures uuriti ehitustehnilist- ja ehitusfüüsikalist seisukorda, kus mõõtmised toimusid järgmiselt: esimeses hoones mõõdeti teist korrust, teises hoones mõõdeti esimest korrust, kolmandas hoones viidi mõõtmisi läbi esimese korruse keskmises korteris ja teise korruse otsakorteris ning neljandas hoones mõõdeti ühte korterit, mis oli kokku ehitatud kolmest korterist.

Esmalt mõõdeti hoonete ehitustehnilist seisukorda, kus konstruktsiooni osad jaotati gruppideks ja lähtuvalt konstruktsioonieleменти maksumuse osatähtsusest kogu hoone maksumusest ning tuvastatud füüsilisest kulumist, anti hoonetele protsentuaalne füüsilise kulumise hinnang. Kõige väiksem hoone füüsiline kulum oli 6,75%, kus märgatavaid kahjustusi esines kõige vähem. Kõige suurem hoone füüsiline kulum oli 26,55%, kus esines mitmeid kahjustusi ja kulumisi (näiteks elutoa põrandas tuvastati majavamm). Keskmine hoonete füüsiline kulum oli 19,75%.

Hoonete vundamentidel ja soklitel esines mitmeid probleeme, milleks olid vajumisest tingitud mōrad, väga madal või puuduv sokli osa, puuduv või kulunud hüdroisolatsioon ning sellest tingitud keldriseinte mōrgumine. Fassaadidel esines mitmetes kohtades purunenud krohvikihiti ja väga kulunud voodrilaudasid. Vahelaed ja põrandad olid üldjoontes heas seisukorras, kuid ühel hoonel tuvastati elutoa põrandal majavamm, mis oli tingitud varasemast niiskuskahjustusest kõõgis. Siseseinte olukord oli hea, kuid mõningates kohtades oli mōrgata viimistlusmaterjali kulumist. Katusekonstruktsioonides esines mitmeid kahjustusi, milleks olid pilud katusekattematerjalis, vee kondenseerumine plekk-katusele ja roovituse mōrgumine ning eterniitkatuse ebaühtlane vajumine (tõenäoliselt tingitud kulunud sarikatest või pärliinitest). Avatäidete olukord oli rahuldav, kuid kõikidel hoonetel esines kulunud tihendeid ja sellest tulenevalt oli tunda kergemat õhuliikumist. Ühel hoonel olid ka väga amortiseerunud aknad (topeltraamiga klaasaknad ilma paketita). Eriosade vaatlemisel ei tuvastatud märgatavaid kahjustusi, kuid küttesüsteemide juures, kus kasutati puukütet, esines ahjukivide sidematerjali kulumist ja pragusid.

Korterialanike ankeetküsitlusega kirjeldati elamupinda, tehnilist seisukorda ning rahulolu sisekliimaga. Uuritud korterites elas 1-5 inimest (keskmiselt 2,5 inimest korteri kohta) ning keskmine elamispind ühe elaniku kohta oli 37,2 m². Kõikides ruumides oli varasemalt läbi viidud remonttöid, kus peamiselt värskendati siseviimistlust ning teostati sanitaarremont vannitubades. Kahes korteris oli viimase kümne aasta jooksul välja vahetatud aknad PVC akende vastu. 40% korteritest kurtsid, et talvel lähevad aknad söögitegemisel uduseks, kuid üheski korteris ei täheldatud härmatise teket. Talveperioodil kuivatavad kõik korteriomanikud pesu siseruumides.

Siseõhu temperatuuri talvel peavad 60% elanikest mugavaks ning 40% pigem mõnevõrra jahedaks. Suveperioodil ollakse üldjoontes temperatuuriga rahul, kuid 20% vastanute jaoks on liiga palav. 40% elanikest kurdavad vähesel määral temperatuuri kõikumise üle, aga üldjoontes ollakse rahul. Liigse palavuse ja värske õhu puuduse tõttu tuulutavad suvekuudel kõik elanikud eluruume. Talvekuudel tehakse seda vähem ja peamiselt enne magama minekut või kui toad on liiga soojaks köetud.

Hoonete sisekliima mõõtmistel mõõdeti hoonetes keskmiseks siseõhu temperatuuriks 21,6°C ning temperatuuri kõikumised jäid vahemikku 16,3°C kuni 25,9°C. Keskmine suhteline õhuniiskus mõõteperioodil oli 32,8% ning kõikumised jäid vahemikku 21,3% kuni 43,7%. Niiskuselisa keskmine tulemus mõõteperioodil oli 2,64 g/m³, millest võib järeldada, et hoonetes on külmemal perioodil keskmine niiskuskooormus.

Hoonete termografeerimine viidi läbi kahes osas, kus esmalt tehti termofotod passiivses olukorras ning hiljem aktiivses olukorras (50Pa alarõhu tingimustes). Termografeerimisel tuvastati peamised külmasillad ja õhulekkekohad, milleks olid avatäited ja nende ümbrused, välisseinte liitekohad, põranda ja seinte liitekohad, vahelagede ja seinte liitekohad, kaldlaed ning erinevad läbiviigud välisseintes. Termofotode põhjal arvutati temperatuuriindeks, millega hinnati külmasildade kriitilisust. Passiivses olukorras tehtud termofotodel olid 26,7% temperatuuriindeksitest väiksemad kui 0,70 ning 53,4% olid väiksemad kui 0,80. Sellest võib järeldada, et tegemist on mõõduka kondensaadi ning hallituse tekkimise ohuga. Aktiivses olukorras tehtud termofotode põhjal olid näitajad märksa kõrgemad, kus 70,8% temperatuuriindeksitest olid väiksemad kui 0,80 ning seetõttu on väga suur oht hallituse tekkeks.

Hoone välispiirete õhupidavust määrati seadmega BlowerDoor, millega tekitati hoonesse rõhkude erinevus. Korterites mõõdetud keskmine õhulekke suurus alarõhu tingimuses (50 Pa juures) oli 3100 m³/h, keskmine õhuvahetuskordsus oli 14,56 h⁻¹ ning keskmine õhulekkearv oli 11,95 m³/(h·m²). Alarõhu tingimustes mõõdetud õhulekkearvud jäid vahemikku 2,17 m³/(h·m²) kuni 23,19 m³/(h·m²).

Mõõdetud ehitustehnilistest- ja ehitusfüüsikalistest tulemustest selgus, et hooneid oleks vaja renoveerida, et tagada parem energiatõhusus ning sisekliima. Seetõttu arvutati välisseinte keskmine soojusläbivus, milleks oli 0,57 W/(m²·K). Samuti selgus, et on mõõdukas oht veeauru kondenseerumiseks seinakonstruktsiooni välimistele kihtidele (peamiselt tõrvapapi ja soojustuskihi vahele). Seetõttu pakuti lisasoojustamise võimalusi, milleks üldjuhul oli 150mm paksune lisasoojustuse kiht koos tuuletõkkega. Lisasoojustuse paigaldusega oleks keskmine soojusläbivus 0,175 W/(m²·K) ning veeauru kondenseerumise oht minimaalne.

Antud lõputöö tulemusena, saab võrrelda erinevatel ajastutel ehitatud puitkarkasselamute ehitustehnilist- ja ehitusfüüsikalist seisukorda ning seejuures ka ideid renoveerimisvõimalusteks ning välisseinte soojusläbivuse parandamiseks. Samuti saab võrrelda mõõdetud tulemusi teistes uurimistöodes uuritud teistsuguste konstruktsioonidega (palk ja kivi) hoonete tulemustega.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Pryce, W.** (2016) Architecture in Wood – a World History. London: Thames and Hudson. 320 lk.
2. Kalamees, T., Arumägi, E., Just, A., Kallavus, U., Mikli, L., Thalfeldt, M., Klõšeiko, P., Agasild, T., Liho, E., Haug, P., Tuurmann, K., Liias, R., Õiger, K., Langeproon, P., Orro, O., Välja, L., Suits, M., Kodi, G., Ilomets, S., Alev, Ü., Kurik, L. (2011). Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpparuanne. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond.
3. **Volberg, A.** (1930). Maaehitusi II. Tallinn: trükikoda „J. Ratasepp’a“. 149 lk.
4. **Jürgenson, L.** (1942). Elamu Soojapidavus. Tartu: trüki- ja köitekoda „J.Mällo ja Pojad“. 248 lk.
5. Lenderi maja – hoonetüübi areng ja säästev uuendamine. (2011). /Koost. A. Martin, Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. Toim. M. Sedrik. Tallinn: Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. 37 lk.
6. Tallinna maja – hoonetüübi areng ja säästev uuendamine. (2010). /Koost. M. Sepp, Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. Toim. M. Vallikivi-Päts. Tallinn: Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. 33 lk.
7. Funktsionalistlik maja – eramu ja väike kortermaja. (2011). /Koost M. Eensalu, Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. Toim. M. Sedrik. Tallinn: Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. 45 lk.
8. Ehitustööde tehnilised nõuded ja tingimused. (1928). Tallinn: Teedeministeeriumi ehitus-tehnika osakond.
9. Kultuurimälestiste riiklik register. [veebileht] <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monumentmap> (07.04.2019)
10. Tartu linna planeeringute ja ehitusprojektide arhiiv (07.04.2019)
11. **Douglas, J., A. Noy, E.** (2011) Building Surveys and Reports. (4. tr.). West Sussex: John Wiley & Sons LTd. 425 lk.
12. Hoonete füüsilise kulumise määramise tabelid. (1992). /Koost. AS Kommunaalprojekt. Kinnitas. Eesti Riiklik Elamuamet. 75 lk.
13. Kalamees, T., Ilomets, S., Liias, R., Raado, L.-M., Kuusk, K., Maivel, M., Ründav, M., Klõšeiko, P., Liho, E., Paap, L., Mikola, A., Seinre., E., Lill, I., Soekov, E., Paadam., K., Ojamäe, L., Kallavus, U., Mikli, L., Kõiv, T.-A.. (2012). Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord – ajavahemikul 1990-2010 kasutusele võetud korterelamud. Uuringu lõpparuanne. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond.

14. **EVS-EN ISO 13788:2012.** Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisese kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
15. Hobo® U12 Temp/RH Data Logger. - Onset Computer Corporation. [Võrgumaterjal]. http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/13127-B%20MAN-U12011.pdf
16. **EVS-EN ISO 7726:2003.** Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
17. **EVS-EN ISO 15251:2007.** Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
18. **EVS 839:2003.** Sisekliima. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
19. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi digitaalelektronika labor arhiiv. [veebileht] <http://energia.emu.ee/?q=arhiiv> (07.04.2019).
20. **EVS-EN 13187:2001.** Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
21. Paloniitty, S., Paloniitty, J., Haimilahti, J. (2016). Termograafia Ehituses /Toimetaja Perema, A., Tallinn: ET Infokeskuse AS.
22. Flir b50 Technical Data. (2011). Toote spetsifikatsioon. Flir Systems Inc. 2lk.
23. Flir i7 Technical Data. (2017). Toote spetsifikatsioon. Flir Systems Inc. 4lk.
24. **Kalamees, T.** (2006). Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges. - Proceedings of the Estonian Academy of Science, Eng, 2006, 12. pp. 218-229.
25. **EVS-EN 9972:2015.** Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
26. Minneapolis Blower Door, Building Airtightness Testing Systems - The Energy Conservatory, Minneapolis: The Energy Conservatory.
27. RL0205: Asustatud tavaeluruumide üldandmed asukoha järgi. (andmed uuendatud 19.03.2013). Eesti Statistika andmebaas. <http://andmebaas.stat.ee/> (23.04.2019).
28. Eluruumidele esitatavad nõuded. Vabariigi valitsus määrus nr. 85. (vastu võetud 02.07.2017). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/103072015034> (26.04.2019).
29. Details for Conventional Wood Frame Construction. (2001). American Forest & Paper Association. [on-line] American Wood Council (08.05.2019).
30. Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. Vabariigi valitsuse määrus nr. 58. (vastu võetud 05.06.2015, kehtiv alates 21.01.2019). – *Riigi teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/118012019012> (26.04.2019).
31. **Kalamees, T.** 2006. Hygrothermal Criteria for Design and Simulation of Buildings. Doktoritöö. Tallinna Tehnikaülikooli ehituse ja arhitektuuri instituut. Tallinn. 106 lk.
32. U-value calculator. [veebileht] <https://www.ubakus.de/> (15.05.2019).

33. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi valitsuse määrus nr. 63. (vastu võetud 11.12.2018, kehtiv alates 01.01.2019). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014> (15.05.2019).
34. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi valitsuse määrus nr. 55. (vastu võetud 03.06.2015, kehtivuse lõpp 31.12.2018). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/119012018006> (15.05.2019).
35. Ehituskonstruktori käsiraamat. (3. tr). (2012). /Toim. T. Masso. Tallinn: Ehitame kirjastus. 577 lk.
36. **EVS 908-1:2016.** Hoone piirdetarindi soojuslähivuse arvutusjuhend – Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
37. Energiatõhususe tegevuskava: potentsiaali realiseerimine. (vastu võetud 19.10.2006). – *Euroopa Ühenduste Komisjon*. (15.05.2019).

LISAD

Lisa 1. Hoonete tehnilise seisukorra arvutustabelid

Tabel L1.1. Hoone 1 arvutuskäik

Jrk	Konstruktiivelement	Konstruktiivelemendi kirjeldus	Maksumuse osatähtsus [%]	Füüsiline kulum [%]	(m x f)	Kommentaar
1	Vundamendid	Betoon	12	15	180	Mõrad soklil
2	Välisseinad	Sõrestikseinad, puiste-soojustusmaterjaliga, laudvooder	10	5	50	Väiksemad kulumisemärgid
3	Vaheseinad	Sõrestikseinad, puiste-soojustusmaterjaliga, laudvooder	8	0	0	Märgatavad vigastused puuduvad
4	Vahelaed	Keldrilagi r/b, vahelaed puittaladel puistematerjaliga, laed krohvitud, puitkonstruktsioonist trepid	10	5	50	Väiksemad kulumisemärgid
5	Katusekonstruktsioon	Puitkonstruktsioon	5	10	50	Sarikatel väiksemad kulumismärgid
6	Katusekate	Katusekivid	5	10	50	Üksikud pilud kivide vahel
7	Põrand	Elutubades parkett	6	5	30	Väiksemad kulumisemärgid
8	Aknad	Puitaknad, värvitud õlivärviga	5	10	50	Akende tihendid kulunud
9	Uksed	Tahveluksed, värvitud õlivärviga	5	20	100	Uksetihend kulunud (külmasild)
10	Viimistlus	Välisvoodrilaud, õlivärv, tapeet, märgades ruumides ja köökides keraamiline plaat	10	5	50	Väiksemad kulumisemärgid
11	Küte	Ahjud ja pliidad glasuorpottidest, korstnad tellisest ja silikaadist	13	5	65	Väiksemad kulumismärgid, praod kivide vahel
12	Vesi-Kanal	Malmkanalisatsioonitorud, tsingitud veetorud	4	0	0	Ei esine vigastusi, lekkeid, kulumist
13	Gaasivarustus	Gaasikatel, radiaatorid	3	0	0	Ei esine vigastusi, seade on kontrollitud
14	Elektrivarustus	Süvistatud juhtmestik	4	0	0	Ei esine vigastusi, lekkeid, kulumist
15	Muud tööd	-	-	-	-	
		Kokku	100	-	675	
		Hoone füüsiline kulum Fk	6,75			

Tabel L1.2. Hoone 2 arvutuskäik

Jrk	Konstruktiivelement	Konstruktiivelemendi kirjeldus	Maksumuse osatähtsus [%]	Füüsiline kulum [%]	(m x f)	Kommentaar
1	Vundamendid	Valatud r/b	10	10	100	Üksikud mõrad soklil
2	Välisseinad	Sõrestikseinad, puiste-soojustusmaterjaliga, laudvooder	10	40	400	Mitmes kohas mõrad, krohvi mahalangemine
3	Vaheseinad	Sõrestikseinad, puiste-soojustusmaterjaliga, laudvooder	7	5	35	Väiksemad kulumisemärgid
4	Vahelaed	Keldrilagi r/b, vahelaed puittaladel puistematerjaliga, laed krohvitud, puitkonstruktsioonist trepid	15	65	975	Seenkahjustused I korrusel
5	Katusekonstruktsioon	Puitkonstruktsioon	5	10	50	Vee kondenseerumine
6	Katusekate	Plekk	3	15	45	Vee kondenseerumine plekile
7	Põrand	Elutubades parkett	6	20	120	Kergemad kulumismärgid
8	Aknad	Puitaknad, kahekordse raamiga	5	75	375	Akna tihendid puudu, tuuletõmbus, avaümbrus teibitud, aknad ei vasta tänapäevanõuetele
9	Uksed	Tahveluksed, värvitud õlivärviga	5	15	75	Uksetihendid külmunud, külmasild, terassiuksel silmnähtavad pilud
10	Viimistlus	Krohvitud, lubivärv, krohv, tapeet, märgades ruumides ja köökides keraamiline plaat, õlivärvipaneel	10	35	350	Fassaadil suured kulumismärgid, krohvi vigastused, üksikud praod siseviimistluses
11	Küte	Ahjud ja pliidid glasuorpottidest, korstand tellisest ja silikaadist	13	10	130	Väiksemad kulumisemärgid
12	Vesi-Kanal	Malmkanalisatsioonitorud, tsingitud veetorud	4	0	0	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
13	Gaasivarustus	Gaasikatel, põrandaküte	3	0	0	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
14	Elektrivarustus	Süvistatud juhtmestik	4	0	0	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
15	Muud tööd	-	-	-	-	
		Kokku	100	-	2655	
		Hoone füüsiline kulum Fk	26,55			

Tabel L1.3. Hoone 3 arvutuskäik

Jrk	Konstruktiivelement	Konstruktiivelemendi kirjeldus	Maksumuse osatähtsus [%]	Füüsiline kulum [%]	(m x f)	Kommentaar
1	Vundamendid	Looduskivist	10	35	350	Vigastused soklil, soklipiir maa-all
2	Välisseinad	Sõrestikseinad, puiste-soojustusmaterjaliga, laudvooder	10	30	300	Voodrilaudade vigastused, eriti kulunud sokli juurest, niiskuse kogunemine
3	Vaheseinad	Sõrestikseinad, puiste-soojustusmaterjaliga, laudvooder	8	5	40	Väiksemad kulumisemärgid
4	Vahelaed	Keldrilagi r/b, vahelaed puittaladel puistematerjaliga, laed krohvitud, puitkonstruktsioonist trepid	13	10	130	Väiksemad kulumisemärgid
5	Katusekonstruktsioon	Puitkonstruktsioon	5	40	200	Katuse nõ lainetamine, vajumismärgid
6	Katusekate	Laineline eterniit	5	30	150	Praod ja läbijooksud üksikutes kohtades
7	Pörand	Elutubades parkett	6	20	120	Keskmiised kulumismärgid
8	Aknad	Puitaknad, kahekordse raamiga	5	10	50	Aknatihendid kulunud, külmasild
9	Uksed	Tahveluksed, värvitud õlivärviga	5	10	50	Uksetihendid kulunud, külmasild
10	Viimistlus	Välisvoodrilaud, õlivärv, tapeet, märgades ruumides ja köökides keraamiline plaat	10	60	600	Fassaadi värvikiht väga kulunud ja tuhmunud, tapeedi vigastused siseviimistluses
11	Küte	Ahjud ja pliivid glasuorpottidest, korstnad tellisest ja silikaadist	13	20	260	Peenemad praod kolde vooderduses
12	Vesi-Kanal	Malmkanalisatsioonitorud, tsementitud veetorud	5	0	0	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
13	Gaasivarustus		-	-	-	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
14	Elektrivarustus	Süvistatud juhtmestik	5	0	0	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
15	Muud tööd	-	-	-	-	
		Kokku	100	-	2250	
		Hoone füüsiline kulum Fk	22,5			

Tabel L1.4. Hoone 4 arvutuskäik

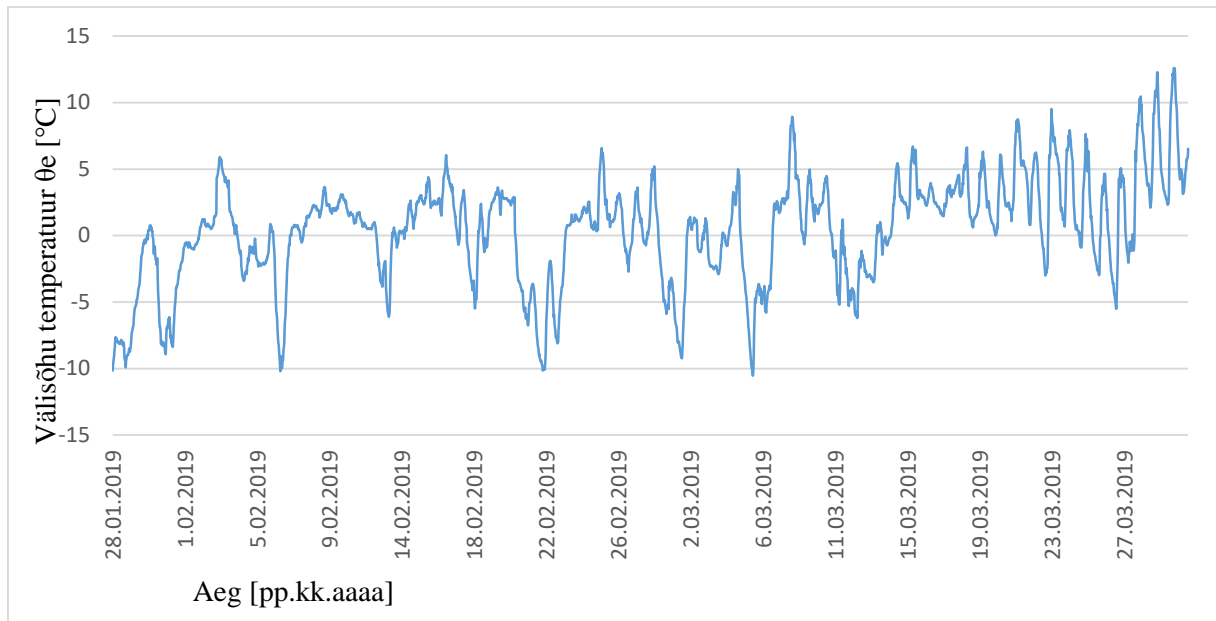
Jrk	Konstruktiivelement	Konstruktiivelemendi kirjeldus	Maksumuse osatähtsus [%]	Füüsiline kulum [%]	(m x f)	Kommentaar
1	Vundamendid	Looduskivist	10	35	350	Praod soklil
2	Välisseinad	Sõrestikseinad, puiste-soojustusmaterjaliga, laudvooder	10	25	250	Voodrilaudade vigastused, kulumismärgid sokli juures
3	Vaheseinad	Sõrestikseinad, puiste-soojustusmaterjaliga, laudvooder	8	5	40	Väiksemad kulumismärgid
4	Vahelaed	Keldrilagi r/b, vahelaed puittaladel puistematerjaliga, laed krohvitud, puitkonstruktsioonist trepid	13	10	130	Väiksemad kulumismärgid
5	Katusekonstruktsioon	Puitkonstruktsioon	5	40	200	Katuse nõ lainetamine, vajumismärgid
6	Katusekate	Laineline eterniit	5	30	150	Praod ja läbijooksud üksikutes kohtades
7	Põrand	Elutubades parkett	6	5	30	Väiksemad kulumismärgid
8	Aknad	Puitaknad, PVC aknad	5	10	50	Aknatihendid kulunud, külmasild
9	Uksed	Tahveluksed, värvitud õlivärviga	5	10	50	Uksetihendid kulunud, külmasild
10	Viimistlus	Välisvoodrilaud, õlivärv, tapeet, märgades ruumides ja köökides keraamiline plaat	10	55	550	Fassaadi värvikiht väga kulunud ja tuhmunud
11	Küte	Ahjud ja pliidid glasuurpottidest, korstnad tellisest ja silikaadist, õhksoojuspump	13	40	520	Suuremad praod kolde vooderduses
12	Vesi-Kanal	Malmkanalisatsioonitorud, tsingitud veetorud	5	0	0	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
13	Gaasivarustus			-	0	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
14	Elektrivarustus	Süvistatud juhtmestik	5	0	0	Ei tuvastanud kulumismärke, vigastusi
15	Muud tööd	-	-	-	-	
		Kokku	100	-	2320	
		Hoone füüsiline kulum Fk	23,2			

Lisa 2. Kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suuruste hinnang

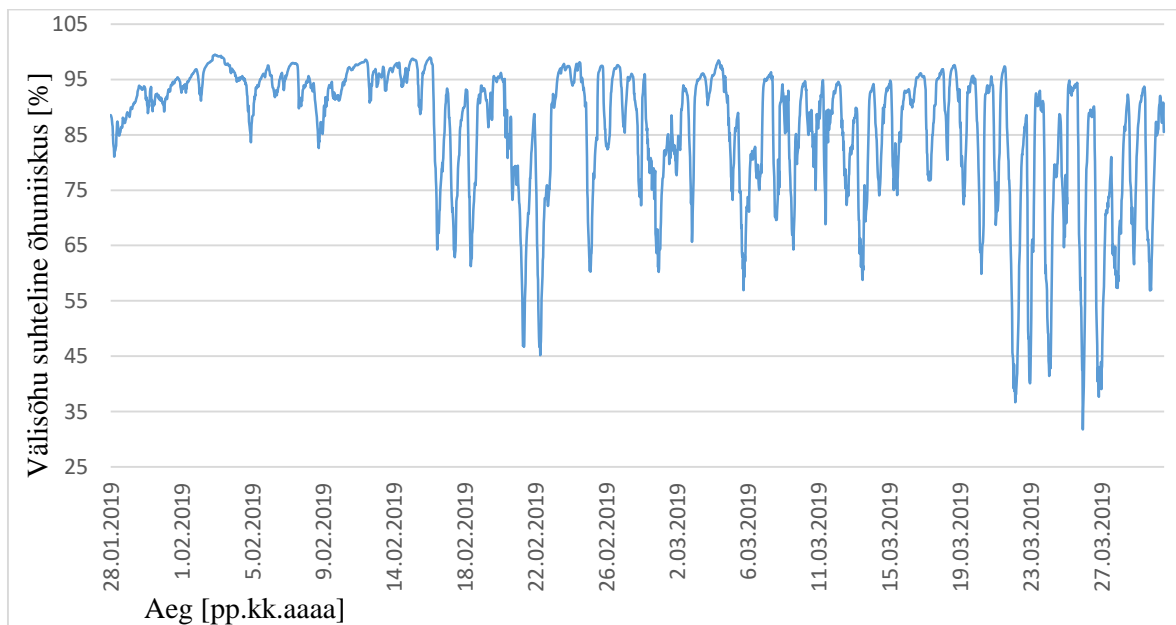
Tabel L2.1. Kütte-ventilatsiooni probleemide suurus

		Hoone 1	Hoone 2	Hoone 3_1	Hoone 3_2	Hoone 4
Siseõhu temperatuur talvel	1 Soe - 7 Külm	5	5	4	4	4
	1 Püsiv - 7 Kõikuv	3	5	1	5	6
Põranda temperatuur talvel	1 Soe - 7 Külm	3	5	4	5	4
Tõmbetuul talvel	1 Suur - 7 Pole	6	6	7	7	6
Siseõhu kvaliteet talvel	1 Värske - 7 Umbne õhk	2	3	4	5	2
	1 Lõhnatu - 7 Halb lõhn	3	4	4	5	1
	1 Kuiv - 7 Niiske	5	2	4	4	3
Staatilise elektri probleemid talvel	1 On - 7 Ei ole	6	4	7	7	3
Siseõhu temperatuur suvel	1 Kuum - 7 Jahe	3	5	1	6	3
	1 Püsiv - 7 Kõikuv	2	5	1	6	5
Tõmbetuul suvel	1 Suur - 7 Pole	4	4	7	7	6
Siseõhu kvaliteet suvel	1 Värske - 7 Umbne õhk	2	3	4	2	2
	1 Lõhnatu - 7 Halb lõhn	2	4	4	2	1
	1 Kuiv - 7 Niiske	4	5	4	4	4
Kütteseadmete müra	1 Ei ole - 7 On	1	3	1	1	2
Ventilatsiooniseadmete müra	1 Ei ole - 7 On	1	3	1	1	1

Lisa 3. Välistemperatuur ja suhteline õhuniiskus



Joonis L3.1. Välistemperatuuri muutumine ajas.



Joonis L3.2. Välisõhu suhtelise õhuniiskuse muutumine ajas.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, RAUF MIRSALAJEV,

(sünnipäev 23.01.1995)

5. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Eesti Vabariigi (1918-1940) ajal ehitatud puitkarkasselamute seisukord ning renoveerimisvõimalused,

mille juhendaja on nooremteadur Martti-Jaan Miljan, MSc ja vanemspetsialist Matis Miljan, BSc,

5.1 salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

5.2 digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

5.3 veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

6. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

7. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

allkiri

Tartu, _____

kuupäev

Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)